

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**  
**Escuela de Ingeniería en Construcción**

Aplicación de la técnica de Valor Ganado como herramienta de control de avance y costos para  
los Túneles de Desvío del P.H. Reventazón

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Alberto José Jiménez Solís

Cartago, Diciembre 2010.

# **Aplicación la técnica de Valor Ganado como una herramienta de control del avance y costos para los Túneles de Desvío del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón**

# Abstract

The following graduation project involves the Earned Value management (EV) implementation in the diversion tunnels of the Reventazón Hydroelectric Project.

Among the project's main objectives, it has been proposed to study the current methodology for controlling and monitoring the work in the Hydroelectric Projects of the Instituto Costarricense de Electricidad.

Additionally, some improvements were made in the template used by the management project department (this template monitors the advances and cost performances). Excel Software and Visual Basic applications were employed to make possible the advancements.

Once the model was completed, we proceeded applying it into the current running activities, which are:

- ❖ Open-pit.
- ❖ Slope stabilization.
- ❖ Underground excavation.

With the aim of understanding even more the behavior of the activities, we made an analysis using the Earned Value management (EV) in the first biweekly (8-15) implementation. When we got the results, we established the parameters to continue monitoring biweekly the progress.

With the performance efficiency results, we create biweekly a new analysis of the study (16-21).

It provided future forecast trends about the total cost for each activity, the possible date completion and the recommendations for each court date.

Finally, this graduation project gives the department a set of conclusions and suggestions on the conduct of the activities up to the week 21. In addition, it states our personal view of the current situation and the possible action plan.

Key words: physical progress, cost performance, duration, indexes, earned value (EV) and monitoring.

# Resumen

El presente trabajo de graduación consiste en implementar la técnica de valor ganado en los túneles de desvío del P.H. Reventazón.

Dentro de sus principales objetivos se planteó conocer la metodología actual para realizar el control y seguimiento de las obras que poseen los proyectos hidroeléctricos del Instituto Costarricense de Electricidad.

Además, se realizaron mejoras sobre la plantilla existente que utiliza la dirección de proyectos para controlar el avance y los costos de las actividades. Para ello se utilizó el software (Excel) y aplicaciones de Visual Basic.

Una vez que la plantilla (herramienta) estaba terminada se procedió a implementar propiamente la herramienta a las actividades que actualmente se encuentran en ejecución, éstas son:

- ❖ Excavación a cielo abierto.
- ❖ Estabilización de taludes.
- ❖ Excavación subterránea.

Con el objetivo de conocer aun más el comportamiento de las distintas actividades, se realizó un análisis aplicando la técnica de valor ganado en las primeras bisemanas de ejecución (8-15) y con los resultados obtenidos se definieron los parámetros para realizar el control y seguimiento de las siguientes bisemanas.

Con los resultados obtenidos (índices de desempeño) se generó un análisis para cada bisemana de estudio (16-21).

Se brindaron pronósticos del posible costo final para cada actividad, así como su posible fecha de terminación y las recomendaciones pertinentes para cada fecha de corte.

Por último, éste proyecto de graduación brinda al departamento una serie de conclusiones y recomendaciones sobre el comportamiento de las actividades hasta la bisemana 21, se brinda una opinión personal de la situación actual y sobre el posible plan de acción.

Palabras claves: Avance físico, Costos, Tiempo, Índices, Valor Ganado, Seguimiento.

# **Aplicación la técnica de Valor Ganado como una herramienta de control del avance y costos para los Túneles de Desvío del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón**

ALBERTO JOSÉ JIMÉNEZ SOLÍS

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Noviembre de 2010

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

Prefacio .....	1
Resumen Ejecutivo .....	2
Introducción.....	4
Marco Teórico .....	6
Valor Ganado (Earned Value).....	10
Proyecto Hidroeléctrico Reventazón.....	13
Metodología .....	19
Resultados .....	20
Bisemana 16 .....	24
Bisemana 17 .....	25
Bisemana 18 .....	26
Análisis de resultados .....	30
Bisemanas 8-15.....	30
Bisemanas 16-21 .....	33
Conclusiones.....	41
Recomendaciones .....	42
Apéndices .....	44
Anexos .....	45
Referencias .....	46



# Prefacio

Dentro de la administración de proyectos se afirma que la etapa de control y seguimiento es fundamental, por este motivo es muy importante controlar no sólo el avance físico de las obras sino el costo de ellas.

Sin embargo, si un director realiza un análisis individual de cada una de ellas (avance y costo) y no cuenta con una idea clara del grado de detalle sobre el tipo de control por realizar, posiblemente tenga problemas en el momento de tomar decisiones y brindar buenos pronósticos.

La técnica de valor ganado cuenta con una gran cantidad de autores que explican sus conceptos y formulaciones teóricas, sin embargo, muy pocos presentan información sobre su aplicación en proyectos reales.

Es por esta razón, que el presente proyecto de graduación pretende ejemplificar la implementación de valor ganado en los túneles de desvío del P.H. Reventazón y dar a conocer los resultados y el análisis de las formulaciones teóricas de dicha herramienta.

Además, permitirá a los encargados de la obra, conocer realmente el costo (valor) del trabajo realmente ejecutado y así poder tomar las decisiones respectivas. Además permite generar de estimaciones en cuanto al costo final de las actividades y su fecha de terminación. También, ayudará a fomentar su aplicación en las demás obras del proyecto y generar una base de datos completa gracias a la nueva plantilla de control.

Durante el desarrollo de este proyecto, se contó con la guía del Ingeniero y profesor Miguel Artavia, además con la experiencia y supervisión del Ingeniero Jeffrey Aguilar Mendoza; él brindó sugerencias y colaboró en el desarrollo de las modificaciones de la plantilla de control.

No obstante, quiero dar las gracias al personal de la oficina técnica del departamento de Planeamiento y Control, quienes me facilitaron la información necesaria

para realizar una correcta interpretación de los datos.

También, a lo largo de esta práctica profesional conté con el apoyo y supervisión del Ingeniero Dennis Gatjens, quien fue además quien me brindó la oportunidad de desarrollar mi proyecto de graduación en el P.H. Reventazón.

Por último, debo agradecer al Ingeniero a cargo de la obra, Camilo Vargas quien aportó su criterio en varias ocasiones, a los encargados de obra y trabajadores de campo, por toda la información suministrada.

# Resumen Ejecutivo

El objetivo principal del presente proyecto de graduación fue aplicar la técnica de valor ganado en la obra Túneles de Desvío del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, con el fin de brindarle seguimiento y control a las actividades que se encuentran en ejecución.

El Instituto Costarricense de Electricidad, reconoce que dentro de las responsabilidades que posee la dirección de un proyecto, el control y seguimiento de sus obras es vital para desarrollarlo según lo planeado, por lo que consideró que esta técnica puede beneficiar (facilitar) al departamento de Planeamiento y Control del proyecto, a controlar propiamente, las distintas obras que forman parte del proyecto.

La técnica de valor ganado, brinda a la dirección de proyectos información concreta de la situación actual de las obras de un proyecto mediante tres valores principales (insumos), los cuales son el avance físico de las obras, su costo real y su costo programado, todos deben compararse a una fecha determinada de corte.

Como toda herramienta, si los insumos no son confiables, los resultados tampoco lo serán; por este motivo se tomó la decisión de analizar, en forma general, la metodología de trabajo, desde la obtención de los datos de campo, hasta el análisis propiamente de cada obra; así como determinar sus fortalezas y debilidades durante la etapa de control y seguimiento.

Adicionalmente, se elaboró una nueva herramienta de control de obras, que considerara las debilidades que se habían presentado durante la ejecución en el P.H. Toro III y genere información más eficiente (representación gráfica) del comportamiento de las obras y con ello, optimizar el proceso de seguimiento y control.

El desarrollo de este proyecto de graduación se basó en la aplicación de la técnica de valor ganado a partir de la bisemana 16 (Junio) hasta la bisemana 21 (Octubre).

Durante este tiempo se analizó el comportamiento de los índices de desempeño a la fecha de corte de cada bisemana, se identificaron posibles problemas y se brindaron sugerencias al encargado de la obra para tratar de contrarrestarlos.

Con el deseo de conocer aún mejor este comportamiento se aplicaron las formulaciones de valor ganado en las primeras bisemanas de ejecución (8-15), y se observó el comportamiento histórico de los índices.

Como resultado de este análisis preliminar, se determinó que dichos índices no estaban representando realmente la situación de la obra, y se determinó que se debía básicamente a un cambio en las cantidades de obra programada.

Para aplicar correctamente el análisis de valor ganado, cuando la obra sufre alguna modificación en su presupuesto o en el cronograma, se debe modificar el programa, sin embargo, el departamento de planeamiento y control, en conjunto con el encargado de la obra tomaron la decisión de no realizar cambios en el programa.

No obstante, con el fin de realizar el análisis de los índices, lo que se hizo fue una comparación no con respecto a los valores ideales de la teoría, es decir, con respecto a la unidad, sino con respecto unos nuevos que se calcularon tomando en consideración estas modificaciones en las cantidades de obra.

Tomando estos nuevos parámetros de análisis se tomaron los datos de avance y costos para cada bisemana y se obtuvieron sus respectivos índices de desempeño y proyecciones.

Posteriormente, se generó un informe gráfico del comportamiento histórico de los índices de desempeño a lo largo de las seis bisemanas de estudio, el cual se puede observar en la Figura 20 y en la Figura 21.

Como conclusiones de este trabajo, se establecen las siguientes:

- ✓ La metodología de recolección de datos de campo para alimentar el sistema es eficaz, mas requiere de mucho tiempo para llevarse a cabo correctamente.
- ✓ Se determinó que la información necesaria para utilizar eficientemente el análisis de valor ganado (grado de detalle) es hasta el nivel (línea) de actividades.
- ✓ Se lograron generar mejoras significativas a las plantillas de control, con las cuales permiten realizar el análisis de valor ganado para las actividades de Túneles de Desvío.

Así mismo se recomienda lo siguientes:

- ✓ En el momento en que se identifique un cambio importante ya sea en el cronograma o en el presupuesto de alguna actividad, realizar la orden de cambio correspondiente para actualizar la programación lo antes posible y poder aplicar la herramienta de manera correcta.
- ✓ Implementar el análisis de valor ganado como herramienta de seguimiento en todas las obras del proyecto.
- ✓ Realizar una capacitación previa al inicio de sus labores, a los inspectores de costos en obra para que antes de iniciar con la recolección de datos de campo conozcan la manera correcta de ingresar la información y evacuen las principales dudas.

# Introducción

Dentro de la administración de proyectos se define que el ciclo de mejora continua de un proyecto consiste en planear, ejecutar, verificar y tomar la medida correctiva, si corresponde, para mantener el proyecto dentro de los objetivos planeados.

En los proyectos hidroeléctricos, el Instituto Costarricense de Electricidad ha realizado el seguimiento de las obras de dos maneras: una mediante el control del avance físico y la segunda, mediante el control de los costos.

Sin embargo, las herramientas utilizadas anteriormente controlan el avance y los costos por separado, por lo que generar información precisa de la situación de cada actividad se puede tornar complicado.

En el año 2008, el Ingeniero Dennis Gatjens, realizó su proyecto de graduación en el Proyecto Hidroeléctrico Toro y dentro de sus entregables, elaboró una nueva herramienta para el proyecto, donde implementó la técnica del análisis de valor ganado.

Esta técnica permite diagnosticar a tiempo, variaciones en el plazo y en el costo de un proyecto. Básicamente, consiste en el cálculo de una serie de índices de desempeño, porcentajes de avance y proyecciones tanto del costo final de las obras como de su fecha de terminación.

Este aporte brindó muy buenos resultados, ya que, con ella permitió brindarle seguimiento al Túnel de Conducción de dicho proyecto; conocer su comportamiento tanto en avance como en costos para cada fecha de corte y determinar el plan de acción por seguir.

Es por este motivo que la compañía consideró que su implementación en proyectos posteriores era de gran importancia.

No obstante, con el transcurso del proyecto (P.H. Toro III), se ha observado que la herramienta posee ciertas debilidades, las cuales en general, no permiten a los ingenieros

encargados de las distintas obras conocer realmente el estado de cada actividad.

Una de las principales debilidades consiste en que la información que genera la herramienta no es puntual, es decir, brinda suficientes datos pero no los organiza de manera que el equipo de trabajo pueda utilizarlos de forma eficiente y práctica.

Además, estos datos, se presentan en forma tabular, como se puede observar en el Anexo 4 y para todas las actividades del proyecto, lo que conforma una gran cantidad de información que no es del todo utilizada en el análisis (control).

Basado en las afirmaciones anteriores, el presente Proyecto de Graduación pretende brindar un análisis integral, tanto del avance físico como del costo de los túneles de desvío del P.H. Reventazón, mediante la técnica de análisis de valor ganado, la cual permitirá conocer de forma objetiva cuánto trabajo se ha realizado.

Los objetivos de este estudio fueron los siguientes:

## Objetivo General

- Aplicar un Análisis de Valor Ganado como una herramienta para mejorar el control y seguimiento de los túneles de desvío del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón.

# Objetivos Específicos

- ✓ Identificar la metodología actual de control de avance y costos en los Proyectos Hidroeléctricos del Instituto Costarricense de Electricidad.
- ✓ Investigar el estado del arte en el tema de control y seguimiento de los proyectos constructivos.
- ✓ Analizar la información disponible y priorizarla de acuerdo a las necesidades de control.
- ✓ Establecer la información necesaria para la correcta y eficiente aplicación de la herramienta.
- ✓ Analizar y diagnosticar las plantillas utilizadas actualmente para el control cuantitativo del avance de las obras del Proyecto Hidroeléctrico Toro 3.
- ✓ Implementar el valor ganado en los túneles de desvío del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón.
- ✓ Analizar los resultados que brinde la herramienta de valor ganado en los túneles de desvío.
- ✓ Realizar las posibles recomendaciones para el manejo del avance y control de costos.
- ✓ Brindar conclusiones de la situación en la que se encuentra el proyecto.

# Marco Teórico

## Administración de Proyectos

Según el autor, Yamal Chamoun, un proyecto se puede definir como un conjunto de esfuerzos temporales, cuyo objetivo es generar un servicio o producto único.

En ocasiones, se tiende a confundir su definición con la de un proceso. No obstante, un proceso posee operaciones continuas y repetitivas, mientras que en los proyectos son temporales y únicos.

Algunas características que comparten todos los proyectos son las siguientes:

- ❖ Su finalización se obtiene sólo de dos formas, porque se cumplió con todos los objetivos propuestos o porque por alguna circunstancia, se decidió cancelar el proyecto.
- ❖ Tiene una duración limitada, es decir tiene un inicio y un fin definido.
- ❖ Los recursos, difícilmente se conservan en su totalidad después del proyecto, pues se plantearon con una meta, desarrollar el proyecto.
- ❖ Todo proyecto tiene como finalidad brindar un servicio o elaborar un producto único.
- ❖ Dentro del desarrollo cualquier proyecto existen cinco procesos:
  - Inicio
  - Planeación
  - Ejecución
  - Control
  - Cierre(Guía del PMBOK, 2004)

### Inicio

El inicio de un proyecto consiste básicamente en establecer la visión del proyecto (el qué), es decir, en definir lo que se desea alcanzar, sus principales objetivos, así como la justificación, limitaciones y supuestos del mismo.

Es en esta etapa, donde se debe describir el alcance del proyecto, el tipo de financiamiento por utilizar, los productos o servicios entregables, la duración y un pronóstico de los recursos para el análisis de inversión de la organización.

### Planificación

Como la palabra lo dice, en esta etapa se debe planificar **el cómo** se van a lograr los objetivos propuestos.

En este proceso también se madura y define el alcance, se establece la estructura de trabajo (EDT), se define la secuencia, la duración, los recursos; se estima el costo, se identifican los posibles riesgos, se estudian las contrataciones de cada actividad de las diferentes obras y se estima el costo de dichas actividades y por ende, del proyecto. (Guía del PMBOK, 2004)

### Ejecución

La ejecución comienza durante el desarrollo del plan del proyecto, al seleccionar a los proveedores, administrar sus contratos, asegurar

la calidad, integrar al equipo y distribuir la información de acuerdo con los criterios preestablecidos en el programa de trabajo. (Chamoun, 2002)

## Seguimiento y Control

La etapa de control consiste en comparar periódicamente, la ejecución con la planeación. Si al realizar esta comparación, se encuentran variaciones (problemas), se deben analizar para evaluar su importancia y definir, si es necesario, las acciones correctivas necesarias para mejorar la ejecución del proyecto.

Por otro lado, si al comparar no se determinan desviaciones, se puede seguir ejecutando el proyecto como se ha planeado. Esta etapa de seguimiento continuo, brinda una idea acerca del estado del proyecto y permite identificar fácilmente cualquier sector que necesite atención especial.

En este proceso se debe velar por supervisar y controlar todas las actividades del proyecto, llevar un control de las modificaciones, verificar que se esté respetando el alcance, controlar el avance y los costos.

También se debe velar por cumplir con las especificaciones de calidad, medir rendimientos, dar seguimientos de los riesgos e informar a los equipos de trabajo sobre la situación del proyecto en cada fecha de corte.

(Guía del PMBOK, 2004)

Cuadro 1. Herramientas para control y seguimiento.	
Herramienta	¿Cómo servirá durante el control?
WBS	Para identificar todo el trabajo por ejecutar. Al momento de ejecutar, seguiremos esta estructura para confirmar el alcance realizado. En caso de ajustes al alcance, éstos deberán ser registrados para actualizar

	el WBS.
Matriz de roles y funciones	Para monitorear el desempeño de los participantes en el proyecto y ajustar sus roles y funciones, según sea requerido.
Matriz de comunicación	Para distribuir la información del proyecto en pro de una comunicación efectiva.
Calendario de eventos	Para monitorear el apego al programa de reuniones, pagos y los ajustes necesarios según convenga al proyecto y los participantes.
Estatus semanal	Como estándar se establece en la planeación para repostar el avance semanal. Asimismo, debemos ajustar este documento según las necesidades de los participantes para asegurar una comunicación efectiva.
Reporte mensual	Como estándar se establece en la planeación para reportar el avance mensual, las proyecciones y las recomendaciones. Asimismo, se debe ajustar este documento según las necesidades de los participantes para asegurar una comunicación efectiva.
Programa del proyecto	Para monitorear el apego al presupuesto del proyecto e identificar desviaciones, proponiendo estrategias para corregir y llevándolas a cabo, haciendo participar al equipo del proyecto.
Presupuesto base	Para monitorear el apego al Presupuesto del proyecto e identificar desviaciones, proponiendo estrategias para corregir y llevándolas a cabo con la participación del equipo del proyecto.
Programa de erogaciones	Para comparar las erogaciones reales contra el Plan y tomar las acciones

	requeridas respecto a la asignación de fondos para el proyecto.
Análisis de precedentes	Para comparar el trabajo ejecutado contra el estándar establecido.
Listas de verificación	Permiten ejercer el control de calidad requerido en el proceso de aseguramiento de calidad.
Matriz de administración de riesgos	Para confirmar el seguimiento a la matriz de administración de riesgos y tomar la acción requerida.
Matriz de abastecimientos	Para comparar los abastecimientos reales contra la matriz de abastecimientos en pro de actuar anticipadamente.
Estado de cuenta del contrato	Para integrar el control presupuestal.
Requisición de pago	Para integrar y monitorear el estado de cuenta de cada contrato y asegurar su cumplimiento.
Sistema de control de cambios	Como estándar y procedimientos para manejar los cambios que aparezcan en el proyecto.
Lecciones aprendidas	Para documentar las lecciones aprendidas siguiendo el formato establecido en la planeación.

Herramientas adicionales:

Control presupuestal	Servirá para monitorear el presupuesto y compararlo contra el costo y así identificar ahorros o sobrecostos, tanto actuales como proyectados.
Valor ganado	Servirá para evaluar el desempeño del proyecto integrando medidas de tiempo y costo.

(Chamoun, 2002)

## Cierre

Esta última etapa como bien lo dice su nombre, es en la que se dan por finalizadas formalmente con las actividades del proyecto, o de una fase de éste.

Dentro de este proceso se deben cerrar todos los contratos, ya sean de maquinaria, equipo, planillas, etc., y luego cerrar de forma definitiva el proyecto.

## Interacción entre procesos

Todos los procesos anteriormente descritos, se encuentran relacionados por los resultados que producen (salidas). Es común que estas salidas se conviertan en la alimentación del proceso sucesor o sea un servicio o producto (entregable).

Estos procesos generalmente, son actividades superpuestas que se producen con distintos niveles de intensidad a lo largo del proyecto.

La Figura 3, representa la forma en que se interrelacionan los cinco procesos y el nivel de superposición en distintos momentos dentro de un proyecto. (Guía del PMBOK, 2004)

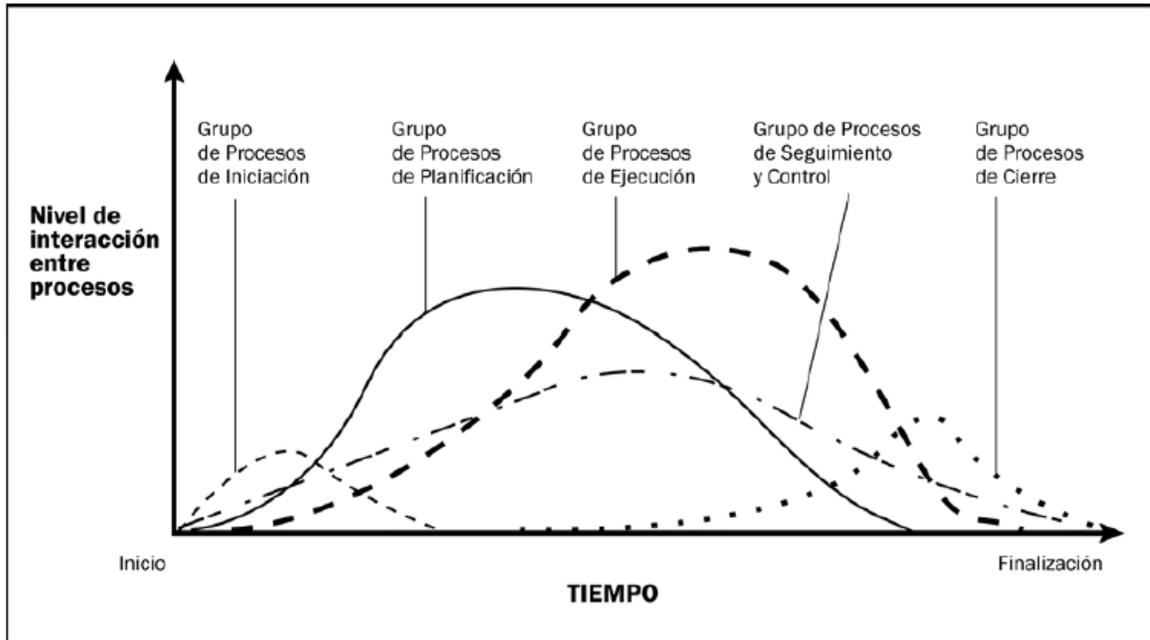


Figura 1. Interacción de los procesos en un proyecto. (Guía del PMBOK, 2004)

Además, si se sacan del panorama la etapa de inicio y cierre, como lo muestra la Figura 4, se representa el ciclo de mejora continua de un proyecto. Éste consiste en planear, hacer, es decir, ejecutar lo planeado, verificar lo que se está haciendo (controlar) y por último, actuar, que significa en caso de problemas, tomar las medidas correctivas necesarias.

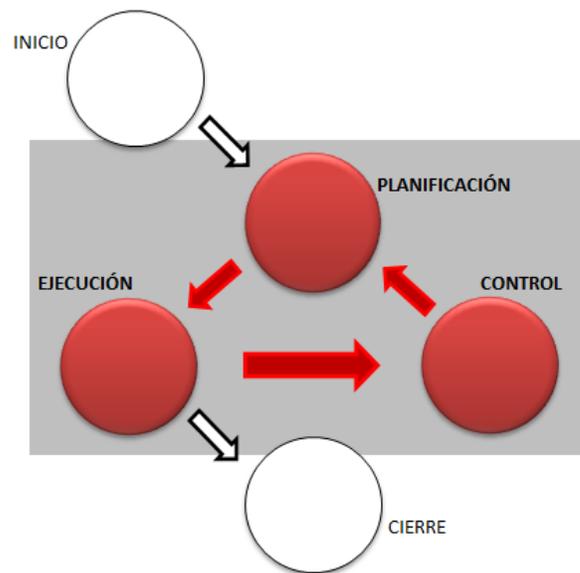


Figura 2. Ciclo de mejora continua.

# Valor Ganado (Earned Value)

La herramienta de Valor ganado permite medir el desempeño de un proyecto, tanto en programación como en costo a una fecha determinada (corte).

Para poder aplicar esta herramienta se requiere, en primer lugar, desglosar el trabajo del proyecto en tareas ejecutables y elementos manejables (EDT). (Amendola, 2005).

Con esta misma estructura se debe asignar el presupuesto para cada una de las actividades del proyecto, y distribuirlo en el tiempo. Esta proyección temporal se obtiene efectuando una programación de todas las actividades del proyecto (diagrama de Gantt) y estableciendo un criterio para distribuir temporalmente los costos de cada una de las tareas. (Navarro, 2005)

Los tres valores clave de esta herramienta son:

- Valor planificado (VP).
- Costo actual (AC)
- Valor ganado (VG)

El Valor planeado o Planed value, no es más que el costo presupuestado del trabajo programado hasta la fecha de realizar el corte.

El Costo actual o Actual cost, se define como el costo real del trabajo realmente ejecutado hasta la fecha de corte.

El Valor ganado o Earned Value, equivale al costo presupuestado del trabajo realmente ejecutado hasta el corte, es decir, el costo presupuestado de todas las actividades terminadas, más el porcentaje de avance a la fecha de corte de las que se encuentran en ejecución por su respectivo costo presupuestado.

En la Figura 5, se pueden observar los tres valores clave a una fecha de corte definida.

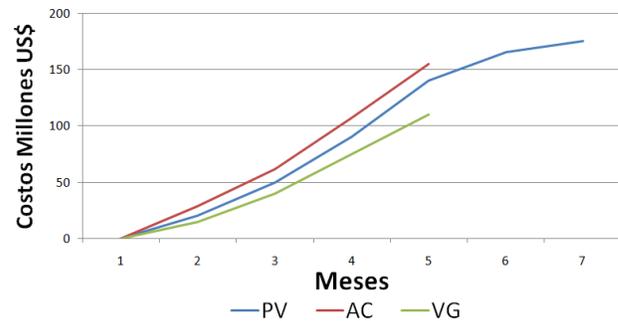


Figura 3. Gráfico acumulado de PV, AC y EV.

A partir de estos tres valores y conforme se vaya ejecutando el proyecto, se puede dar inicio al análisis de Valor Ganado.

Este análisis consiste en realizar algunas comparaciones mediante un número de indicadores muy simples, que toman como base los tres valores claves descritos anteriormente.

## Variación del tiempo

La Variación del tiempo o Schedule Variance (VT): es un indicador que hace una comparación del costo presupuestado del trabajo realizado con el del trabajo programado.

Esta variación indica, en términos monetarios, si el proyecto está adelantado o atrasado con respecto a lo programado y se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$VT = VG - VP$$

Si al aplicar dicha fórmula se obtiene un resultado positivo indicaría que, a la fecha de corte, se ha realizado más trabajo de lo que se había programado, mientras que un resultado negativo indicaría que el proyecto se ha atrasado con respecto a lo programado. En la Figura 6 se representa gráficamente.

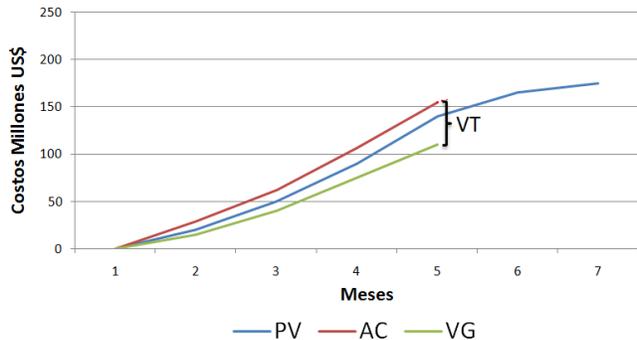


Figura 6. Variación del Programa (VT)

## Variación del costo

La Variación del costo o Cost variance (VC) se define como la diferencia entre costo presupuestado del trabajo realizado (VG) y el costo real del trabajo ejecutado y se determina por la siguiente fórmula:

$$VC = VG - CA$$

En la Figura 4, se representa gráficamente.

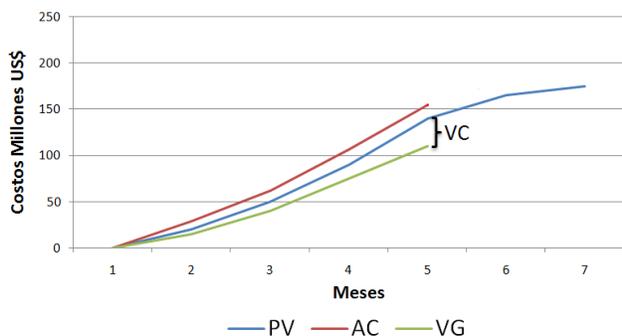


Figura 4. Variación del Costo (CV)

Si el resultado es positivo indicaría que el costo real fue menor que lo presupuestado. Por otra parte, un resultado negativo indicaría que los

trabajos están saliendo más costosos de lo planeado.

## Índice de desempeño del tiempo

El Índice de desempeño del tiempo o Schedule performance index (IDT) consiste en una medición de la eficiencia del avance del proyecto.

Éste muestra la relación entre el costo presupuestado del trabajo ejecutado y del trabajo programado, a una fecha determinada. Se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$IDT = VG / VP$$

Si éste es menor a la unidad, el avance real del proyecto está por debajo del programado y si por el contrario se encuentra entre 0,8 y 1,2, el proyecto se comporta en términos de tiempo, de acuerdo con lo planificado para esa fecha.

## Índice de desempeño del costo

El Índice de Desempeño del costo o Cost performance index (IDC) representa la relación entre el costo presupuestado del trabajo realizado y el costo real del trabajo ejecutado en período específico de tiempo, y se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$IDC = VG / CA$$

Al igual que el índice anterior, mide la eficiencia del proyecto pero en términos de costo. Si se obtiene un valor menor a 1.0 el costo real significa que el proyecto se encuentra por encima de lo planeado (sobrecosto). Si el porcentaje de trabajo realizado presenta un comportamiento similar al programado, el valor de IDC tiende a variar entre 0,8 y 1,2.

## Índice de Costo programación

El Índice Costo programación o Cost schedule index (ICP) mide qué tanto se aproxima la condición actual en tiempo y en costo a la planificación original. Se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$ICP = IDT \times IDC$$

Conforme su valor se distancie de la unidad, se hace menos probable que el proyecto logre recuperarse.

La figura 8 presenta el rango de posibles valores de este índice y señala en qué rangos el proyecto presenta buenas condiciones (verde), regulares condiciones (amarillo) o malas condiciones (rojo).

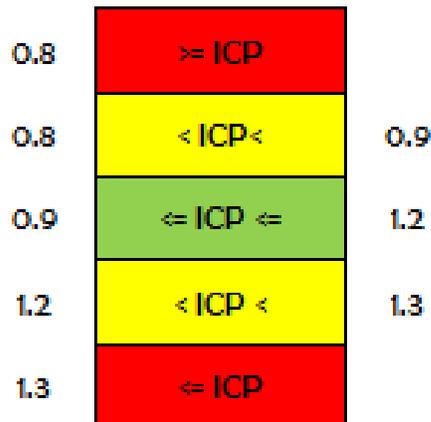


Figura 5. Análisis ilustrativo del Índice de costo programación.

## Pronóstico del costo al término

El Pronóstico del costo al término o Estimate at Completion (PCT) permite conocer con anticipación cual sería el costo total del proyecto al terminar.

Sin embargo, para obtenerlo existen dos formulaciones, las cuales dependen básicamente del análisis que se efectúe a la fecha de corte y de la experiencia de los involucrados.

Si se considera probable que las obras restantes del proyecto continúen con la tendencia que presenta éste a la fecha de corte, se puede calcular de la siguiente manera:

$$PCT = PAT / ICP$$

Si por el contrario, se determina que lo que la situación que presenta el proyecto en el periodo de análisis es algo poco común y que se espera un comportamiento apegado al programa para las obras restantes se obtiene el uso de la siguiente formulación:

$$PCT = CA + (PAT - VG)$$

Donde el PAT es el Presupuesto actual al término o Budget at completion.

## Pronóstico de la fecha de terminación

La Variación al término o Variance at completion (PFT) representa la variación total en términos de tiempo del proyecto con respecto al cronograma original, es decir, cuantos días, bisemanas, meses, se podría atrasar o adelantar el proyecto. Se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$PFT = \text{Duración del Proyecto} / IDT$$

(Amendola, 2005)

En el Anexo 5, se puede observar un esquema de la metodología de valor ganado.

# Proyecto Hidroeléctrico Reventazón

En este capítulo se desarrollarán temas generales del proyecto como, el programa de trabajo, el presupuesto con el que se cuenta para su ejecución, una descripción del tipo de proyecto así como su ubicación geográfica.

Además se detallan las condiciones actuales en el momento en que se inició el presente proyecto de graduación y la metodología empleada antes y después de iniciar el presente trabajo.

## Descripción General

El proyecto hidroeléctrico Reventazón se localiza en la cuenca media del río homónimo, aproximadamente 8 km al suroeste de la ciudad de Siquirres (38 km aguas abajo del sitio de restitución de la casa de máquinas de la Planta Hidroeléctrica Angostura).

El área del proyecto se ubica desde el punto de vista político - administrativo, en los distritos La Florida y Siquirres, del cantón Siquirres, de la provincia de Limón.

En el Anexo 1, se muestra la localización del proyecto, y el Anexo 2 muestra una planta general de las obras. Más detalles se pueden apreciar en las láminas localizadas en el Volumen II del Informe de Factibilidad del P.H. Reventazón.

Está constituido por una presa de enrocado con cara de concreto (CFRD por sus siglas en inglés) que embalsa el agua para transportarla mediante un túnel de 1720 m de longitud y una tubería de presión de 894 m de longitud, hasta la casa de máquinas ubicada en la margen derecha del río.

Con un caudal de diseño de 240 m<sup>3</sup>/s, la capacidad total nominal del proyecto es 305,5 MW.

Al igual que los proyectos hidroeléctricos anteriores, la jornada de trabajo se realiza de forma bisemanal. Una bisemana posee 10 días laborables, se define como la suma de una semana donde se labora de martes a sábado y la semana siguiente de lunes a viernes.

## Programa de trabajo

Se definió que el periodo de ejecución de la fase constructiva iniciara en el tercer trimestre del 2009 para finalizar con los trabajos en diciembre del 2015. En la Figura 9, se puede observar un resumen del Diagrama de Gantt del proyecto.

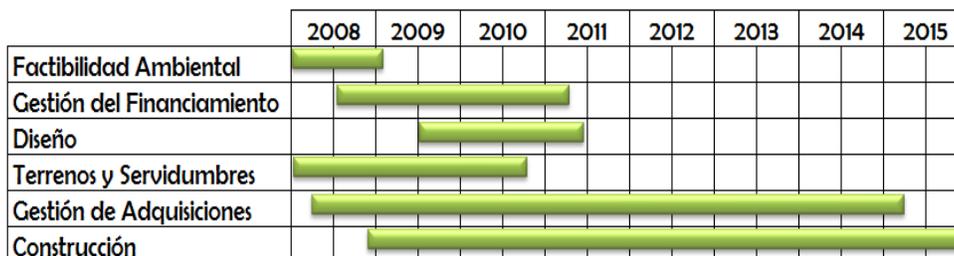


Figura 6. Resumen del programa de trabajo del P.H. Reventazón.

## Presupuesto.

El presupuesto de diseño, ejecución y puesta en operación del PH Reventazón se estableció en US \$ 885,6 millones. Este monto es el resultado de la actualización del presupuesto original. El Cuadro 2 muestra el presupuesto del proyecto por obra.

Cuadro 2. Presupuesto del PH Reventazón.

Entregable	Presupuesto(US\$)
Accesos y puentes	29.448.286,00
Administración	105.858.956,00
Adquisición de terrenos	13.928.600,00
Adquisiciones de equipos y otros	160.660.000,00
Campamentos	7.216.269,00
Captación	369.021.797,00
Casa de máquinas	16.053.758,00
Conducción	
Tanque de oscilación	15.543.445,00
Tubería forzada	53.390.407,00
Túnel	48.532.918,00
Diseño del proyecto	30.814.612,00
Líneas de distribución	1.525.218,00
Pago de permisos	13.500.000,00
Plan ambiental	13.067.988,00
Pruebas finales	113.343,00
Transmisión asociada	6.949.840,00
<b>Total general</b>	<b>885.625.437,00</b>

## Estado actual

El proyecto posee un 11,86% de avance físico para el segundo trimestre del 2010. Las principales actividades con su respectivo avance, se detallan en la Cuadro 3.

Dentro de las actividades en ejecución tenemos las siguientes:

- Continúan trabajos en el camino 3MD, 1MD, #2 y #13. En los caminos 1, 16 y 12 se trabaja en mantenimiento y manejo de aguas.
- Continúan las obras de excavación subterránea para los dos túneles de acceso (acceso al túnel cortina 125 y 140),

- Se trabaja en las obras de excavación a cielo abierto de los portales de entrada y salida de los túneles de desvío.
- Ya se tiene instalado el quebrador y continúa con la explotación de río aguas abajo de la presa.
- Se habilitó la escombrera #8 y comienzan trabajos en la escombrera #7.
- Continúan los trabajos en campamentos, edificios de gestión ambiental, cómputo y puesto 1.

Cuadro 3. Estado de avance del PH Reventazón

Actividad	Avance Físico (%)
Factibilidad Ambiental	100.00
Gestión del Financiamiento	17.79
Terrenos y Servidumbres	51.68
Diseño	14.87
Gestión de Adquisiciones	4.48
Construcción	1.78

## Metodología para el control de avance y costos

Para realizar el control de avance y costos de las obras, el ICE posee un departamento llamado Planeamiento y Control, éste a su vez recibe el apoyo de una oficina técnica, la cual realiza su trabajo (control) mediante dos tipos de control:

- Control del avance.
- Control de costos.

## Control del avance del proyecto

Para controlar el avance de las distintas obras del proyecto, la oficina técnica hace uso de tres herramientas.

El control y seguimiento del cronograma lo lleva a cabo mediante el programa MS Project 2007 y para la medición del avance se utilizan una hoja de cálculo en el programa Excel 2007 y

el Sistema de Rendimientos, software que funciona en red, desarrollado por la compañía.

Al iniciar con el proyecto se cuenta con un "Plan Preliminar" elaborado por el departamento de planeación del ICE (factibilidad) el cual contiene las principales actividades constructivas de cada obra.

Este programa, conforme transcurren las primeras semanas de ejecución del proyecto, este proyecto se modifica de acuerdo con las condiciones que se están presentando (necesidades) y se define el Plan Maestro del proyecto y se le entrega al profesional encargado de cada obra para su respectivo seguimiento y control.

Una vez que se definen las actividades se crea el "Archivo de Avance Real", el cual consiste en una hoja de cálculo que posee todas las actividades y a cada una de ellas se le asigna un peso (valor porcentual). Este peso no es más que el producto entre el costo de la actividad y una ponderación que depende del grado de complejidad de ésta.

Además la hoja indica el periodo de ejecución y una cantidad de obra por realizar, que permita cuantificar el avance.

Los datos de avance programado (otra hoja de cálculo) para cada bisemana, se obtienen distribuyendo linealmente estos pesos durante el tiempo en que se desarrollarán las actividades.

Para realizar el análisis (control) de las obras, se compara la información del Archivo de Avance con la del Avance Programado, a la fecha de corte.

El Sistema de rendimientos, necesita ser alimentado por los datos de campo, los cuales se obtienen de la siguiente manera: la cantidad de obra, se carga (introduce) al sistema mediante el uso de unos formularios ya estandarizados. Estos formularios, especifican la fecha del día que se están tomando los datos para las distintas actividades de cada obra, el avance en una unidad de medición definida, la duración, las condiciones climáticas, los tiempos improductivos, si requiere maquinaria o no y la cantidad de personas que están trabajando.

Los responsables de llenar estos formularios son los inspectores de costos y una vez que estos formularios se han completado, se envían al coordinador de inspectores. Este coordinador tiene un equipo de trabajo que se encargan de digitar la información que tienen los

formularios y automáticamente guardados en la base de datos del sistema.

Una vez que se tiene la información en sistema, se procede a descargar los datos de avance de la bisemana en estudio. Con éstos, se alimenta el "Archivo de Avance Real" y permite generar la Curva de avance.

## Control de costos del proyecto.

El control de costos se lleva a cabo mediante dos herramientas; la primera es un software llamado Sistema de Información Para Proyectos (SIPP) y la otra consiste en una hoja de cálculo en Excel.

Utilizando el SIPP se logra administrar la información de los costos del proyecto en las siguientes categorías:

- ✓ Mano de obra
- ✓ Maquinaria y equipo menor
- ✓ Uso de talleres
- ✓ Materiales
- ✓ Cargo por tarifa
- ✓ Cargo por distribución

Para ingresar los datos de cada una de estas categorías se debe seguir con un procedimiento específico, el cual se detalla a continuación.

En lo que respecta a mano de obra, el proceso se realiza por medio de formularios, en estos se indica la cantidad de personas que se encuentran laborando, el tiempo trabajado y obviamente, se especifica la obra y la actividad que realizan. Luego se digita la planilla de cada trabajador en el sistema, éste calcula automáticamente las cargas sociales.

El uso de equipo se puede dividir en dos procesos: uno si se trata de equipo propio (ICE) y el otro si es alquilado. El equipo propio se carga automáticamente de acuerdo a una definida.

Por otro lado, si el equipo es alquilado, se multiplican las horas o el kilometraje realizado por un precio unitario y se cargan en el SIPP.

El uso de los talleres (eléctrico, automotriz, etc.) se maneja mediante órdenes de trabajo, en las cuales cada taller carga el valor del servicio prestado. Estos cargos se registran a la obra de forma mensual o al finalizar el trabajo.

El retiro de materiales puede llevarse a cabo de dos formas, directamente del almacén a la obra o puede salir del almacén a un depósito (bodega) y luego ser transportado a la obra.

Si se trata de la primera situación, el costo del material es cargado inmediatamente que sale del almacén a la cuenta respectiva para la actividad que se necesita.

Si es el otro caso, el material se carga a la cuenta de la actividad cuando este sale del depósito y no del almacén.

Este cargo a las cuentas se lleva a cabo directamente en el SIPP, por medio del personal del almacén o del depósito.

Los costos de las plantas de concreto, el comedor y producción de agregados (quebrador) se cargan basados en un precio ya establecido para cada producto que ofrecen.

Cada vez que un usuario (llámese área de servicio u obra) solicita un producto, el cargo se efectúa de forma automática al sistema.

Los costos indirectos de cada obra son distribuidos mediante un criterio propio de la compañía, el cual se ejecuta automáticamente por el SIPP.

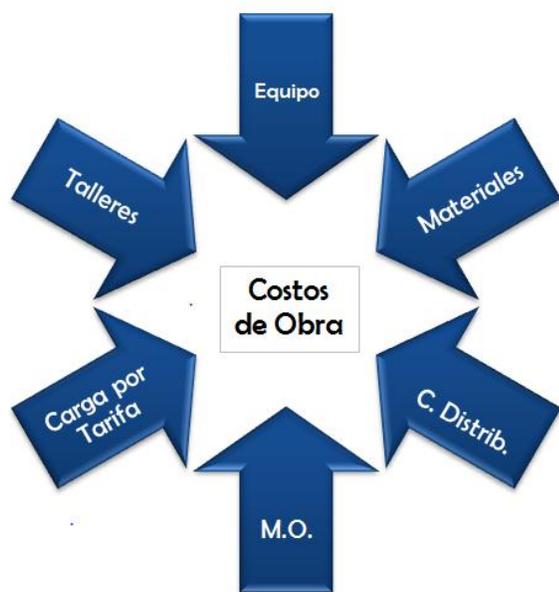


Figura 7. Proceso de captura de datos en el SIPP.

Una vez que se cuenta con los datos en el sistema, se inicia el análisis de forma bisemanal. El siguiente paso consiste en generar un informe en el SIPP, el cual exporta la información a un archivo de Excel, que posee un formato complicado. Para la correcta manipulación de datos se requiere de personal

con alta experiencia en trabajos con hojas de cálculo.

Seguidamente, con base en el informe anterior, se crea un Informe de costos, donde se resumen los distintos costos por categoría para cada bisemana de estudio.

Sin embargo, este último paso tiene sus debilidades, ya que, la información debe de revisarse, corregirse si lo requiere y digitarse en el informe. Esto hace que el proceso se vuelva lento, complejo y con tendencia a errores

Ya con el informe listo, se procede a comparar el costo programado contra el costo real que tiene el proyecto a la fecha de corte

Adicionalmente, se genera una comparación entre el costo unitario programado contra el real que se genera cada bisemana.

La metodología descrita anteriormente, fue la que se utilizó hasta la primera quincena de julio del presente año.

Sin embargo, no brinda información objetiva de cuánto trabajo se ha realizado por lo que se torna difícil dar un efectivo seguimiento al estado de la obra.

Por ejemplo, al comparar el avance real contra el programado, sólo indica si las actividades están avanzando más rápido o más lentamente de lo planeado.

En materia de costos, sucede algo similar, la comparación entre el costo programado y costo real, sólo indica si se está gastando más de lo que se tenía previsto.

Este tipo de análisis (hasta julio 2010), no es capaz de generar información como la variación en el programa (tiempo) o en el costo. Indicadores de desempeño de cada obra, o el costo estimado al término.

## Túneles de Desvío

Las obras de desvío forman parte de la ruta crítica del proyecto, por eso en este apartado se realiza una breve descripción de sus sub-obras y sus actividades.

También se especifica el programa de ejecución y su presupuesto.

Por último se comenta sobre el estado en el que se encuentra actualmente la obra.

## Descripción General

Esta obra consiste en construir dos túneles, ubicados al margen izquierdo del río. Su finalidad radica en desviar el agua del río y de esta manera, iniciar con la construcción de la presa.

No obstante, antes de iniciar el proceso de excavación subterránea de los túneles, se requiere de la excavación de la terraza y la estabilización de los taludes, la construcción de diques y la estabilización del portal, tanto a la entrada como a la salida de dichos túneles.

Seguidamente se inicia con la excavación de los túneles de desvío y de los túneles falsos, los cuales brindan protección a la entrada y salida de los túneles de desvío.

Éstos últimos poseen un diámetro de 14 metros cada uno, una longitud promedio de 730 metros, la sección es tipo baúl, excavado en dos etapas, primero la corona y posteriormente el banco.

Su avenida de diseño es de 3700 m<sup>3</sup>/s (ambos) y su periodo de retorno es de 200 año. Dentro de los últimas actividades está la construcción de las compuertas, el canal de encause y la ataguía.

La ataguía protege el área de construcción de la presa aguas arriba, desviando el río hacia los túneles. Es de enrocamiento con núcleo de geomembrana y posee un volumen de relleno de 456000 m<sup>3</sup>.

## Programa

El periodo de ejecución de la fase constructiva de las obras de desvío se programó para iniciar en el mes de marzo del 2010 y finalizar con las obras en julio del 2012. En el Apéndice 3, se puede observar en detalle un resumen del Diagrama de Gantt de las obras de desvío.

## Presupuesto

El presupuesto de diseño, ejecución y puesta en operación del PH Reventazón se estableció en US \$ 43,3 millones. En el Cuadro 4, se muestra el presupuesto del proyecto por actividad.

Cuadro 4. Presupuesto de los Túneles de Desvío

Actividades	Costo Presupuestado (US \$)
Excavación de Portales	\$ 5.980.208,24
Estabilización de Taludes	\$ 427.593,52
Dique de Protección Entrada de Túneles	\$ 148.597,97
Portal Entrada Túnel 1 y 2	\$ 51.716,89
Dique de Protección Final de Túneles	\$ 148.597,97
Portal Salida Túnel 1 y 2	\$ 51.716,89
Estructuras de Entrada	\$ 1.841.545,12
Túnel de Desvío 1	\$ 13.061.367,33
Túnel de Desvío 2	\$ 14.254.582,07
Pozos para Compuertas de Entrada	\$ 1.168.384,36
Montaje de Compuerta	\$ 5.759.290,12
Estructura de Salida tunel 1	\$ 213.526,08
Estructura de Salida tunel 2	\$ 213.526,08
Total	\$ 43.320.652,65

## Estado Actual

Los túneles de desvío para la segunda quincena de julio del 2010, poseen un avance global del 7,40%. Dentro de las actividades que se están llevando a cabo se pueden mencionar:

- ✓ Excavación de portales, tanto en entrada como en salida.
- ✓ Estabilidad de taludes.

En lo que respecta a la jornada de trabajo de 24 horas a doble turno, de manera bisemanal.

Dentro del equipo utilizado para ejecutar éstas actividades se pueden mencionar: barrenadores con pie de empuje, track drill, excavadoras de 20 ton, vagonetas articuladas y tándem y una máquina para lanzar concreto cuya capacidad es de 6m<sup>3</sup>/h.

Para la estabilización de los taludes se utilizan pernos, con malla electro soldada #2, concreto lanzado y su respectivo drenaje.

En las siguientes figuras se pueden observar los trabajos realizados.



Figura 8. Entrada a túneles de desvío



Figura 9. Salida de túneles de desvío

# Metodología

Este proyecto de graduación se realizó en el Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, ubicado en el cantón de Siquirres, en la provincia de Limón. El trabajo se inició en julio de 2010 y se finalizó en diciembre del mismo año.

Inicialmente, se realizó una investigación bibliográfica en el tema de administración de proyectos con énfasis en las etapas de control y seguimiento.

Además se procedió a entrevistar a los profesionales a cargo del seguimiento del proyecto, para conocer los métodos y herramientas que se utilizan actualmente y de esta manera determinar si estos estaban respondiendo de manera positiva a las necesidades que posee la dirección de proyectos del ICE.

También se realizó un adecuado análisis de la información de campo (visitas), con el objetivo de conocer de forma certera, el sistema de recolección de datos para alimentar la herramienta actual.

Seguidamente, se analizó el proceso de manipulación de los datos de campo (plantillas) existente, con el objetivo de establecer sus principales fortalezas y debilidades, medir su eficiencia y su grado de complejidad (funcionalidad), así como el tipo de análisis de los resultados que se practicaba hasta la fecha.

Estas primeras etapas permitieron definir las expectativas (objetivos puntuales) para aplicar propiamente la herramienta, y establecer qué información es estrictamente necesaria para el proyecto (grado de detalle).

Seguidamente, se procedió a replantear las plantillas existentes, mediante el uso de software (Excel) y aplicaciones de Visual Basic; se realizaron las mejoras necesarias para automatizar el manejo y análisis de la información del proyecto.

Paralelamente a estas etapas, se generaron los datos de valor ganado para la semana 16.

En forma adicional se decidió conocer el comportamiento histórico tanto de las variaciones de costo y tiempo como los indicadores de las primeras ocho bisemanas (8-15).

Con base en este comportamiento, se establecieron nuevos parámetros con el fin de realizar un análisis funcional para las posteriores fechas de corte.

Al mismo tiempo que se continuaba con las mejoras a la herramienta se realizó el análisis de valor ganado para cada bisemana para su respectiva fecha de corte.

Una vez terminada la nueva herramienta de control de avance y costos (plantilla), se alimentó con la información de avance y costos con el objetivo de contar con toda la información en un mismo lugar.

Posteriormente, se analizaron los resultados de las bisemanas siguientes (16-20).

Además se realizaron reuniones con el equipo de construcción para analizar los resultados de cada bisemana.

# Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos al aplicar la nueva herramienta de control de avance y costo.

Inicialmente se muestran los resultados de las primeras bisemanas de ejecución de las obras (8–15). Seguidamente los datos de las seis bisemanas restantes (16-21).

Con el fin de aclarar el contenido de los siguientes gráficos y cuadros, se brindará el significado de cada variable.

Para los gráficos:

TD: túnel de desvío, como obra.

IT: inicio de los túneles de desvío, como sub obra.

FT: final de los túneles de desvío, como sub obra.

EXC (IT): excavación a cielo abierto en el inicio de los túneles de desvío.

EXC (FT): excavación a cielo abierto en el final de los túneles de desvío.

EST (IT): estabilización de taludes en el inicio de los túneles de desvío.

EST (FT): estabilización de taludes en el final de los túneles de desvío.

Para los cuadros:

IT: inicio de túnel.

FT: final de túnel.

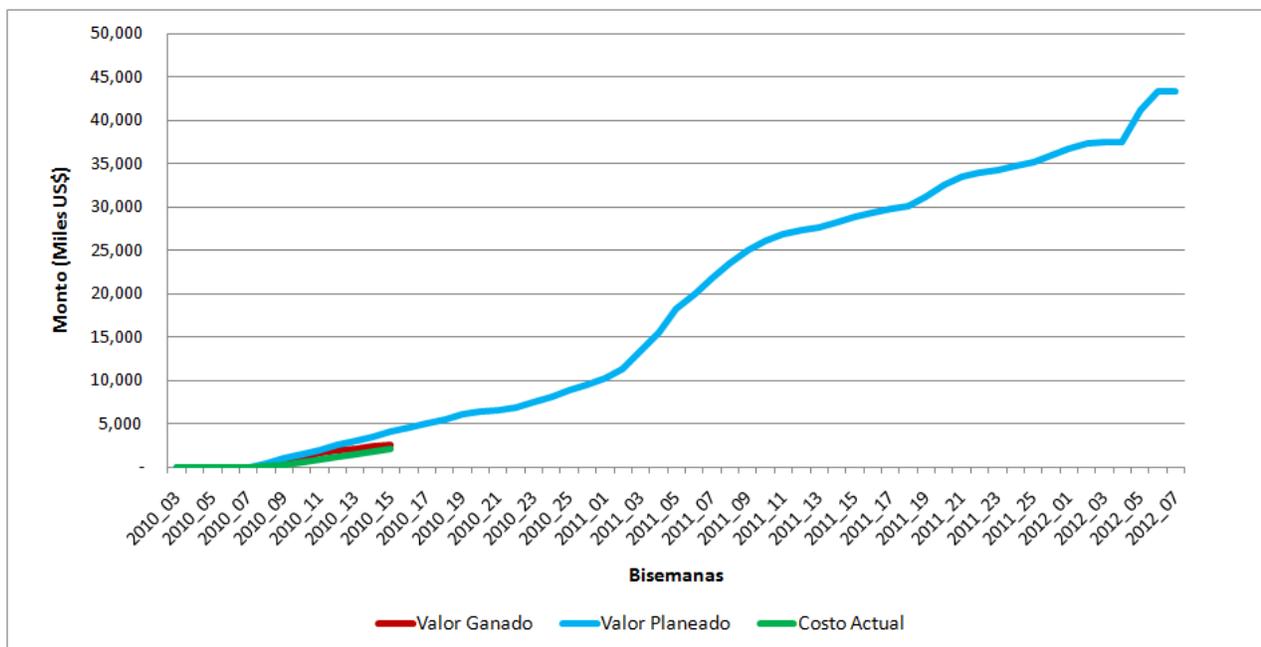


Figura 13. Valor planeado, Costo actual y Valor ganado de los túneles de desvío a la bisemana 15.

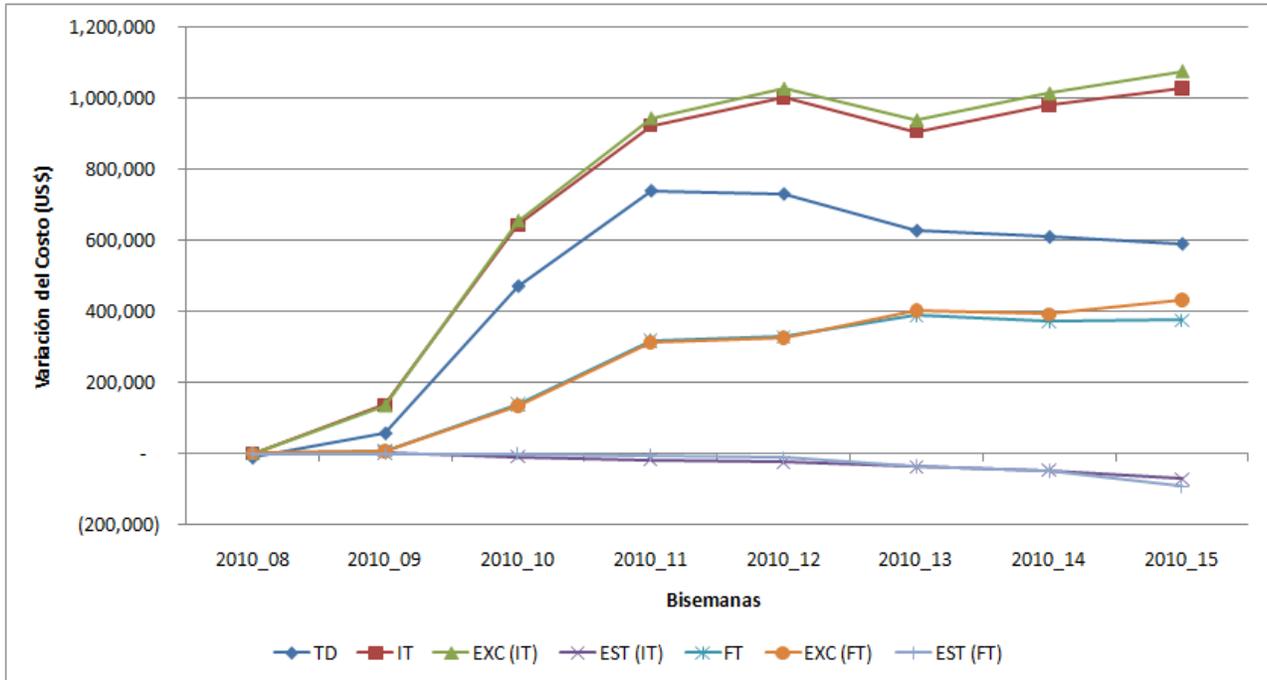


Figura 14. Variación del costo entre las bisemanas 8 y 15.

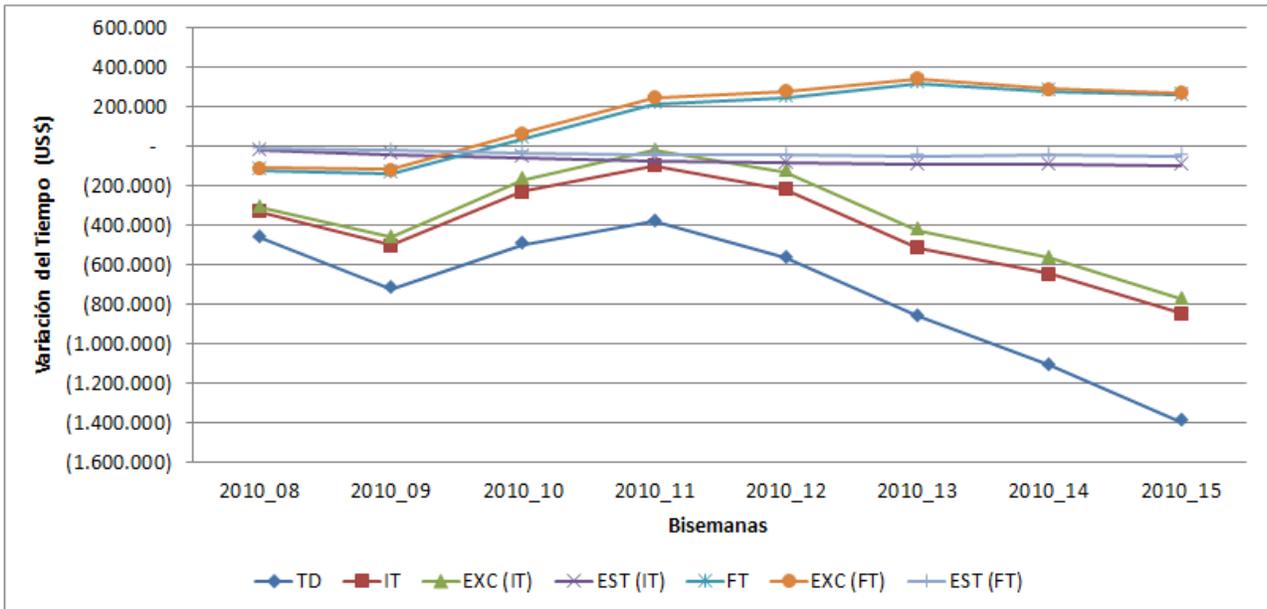


Figura 15. Variación del tiempo entre las bisemanas 8 y 15.

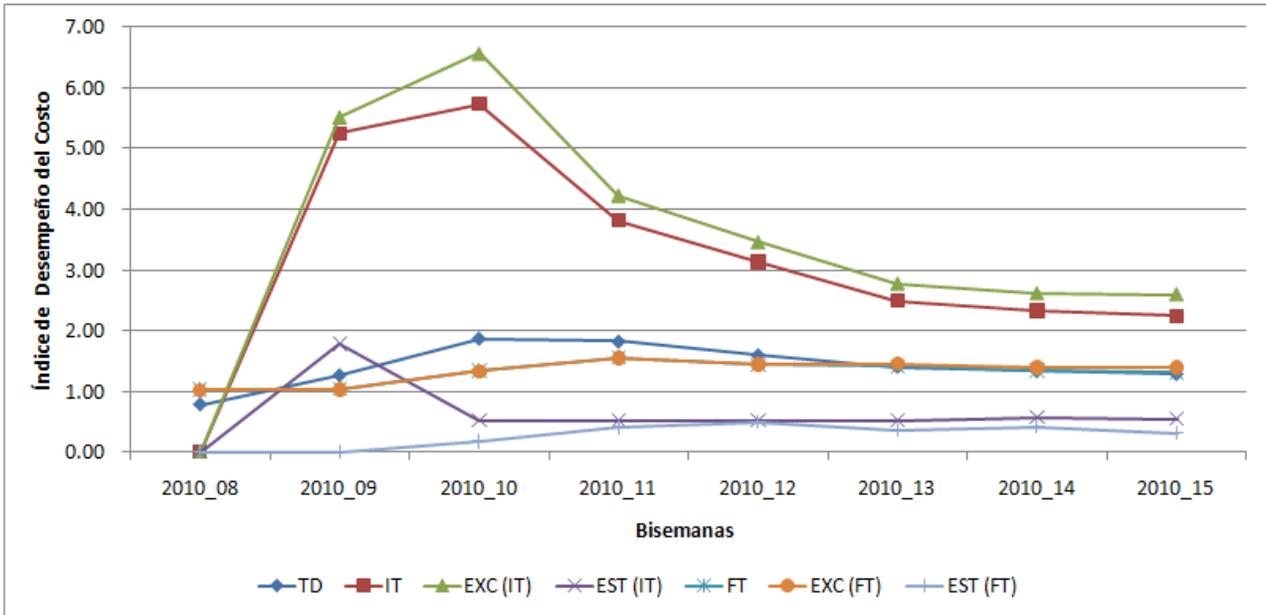


Figura 16. Índices de desempeño del costo entre las bisemana 8 y 15.

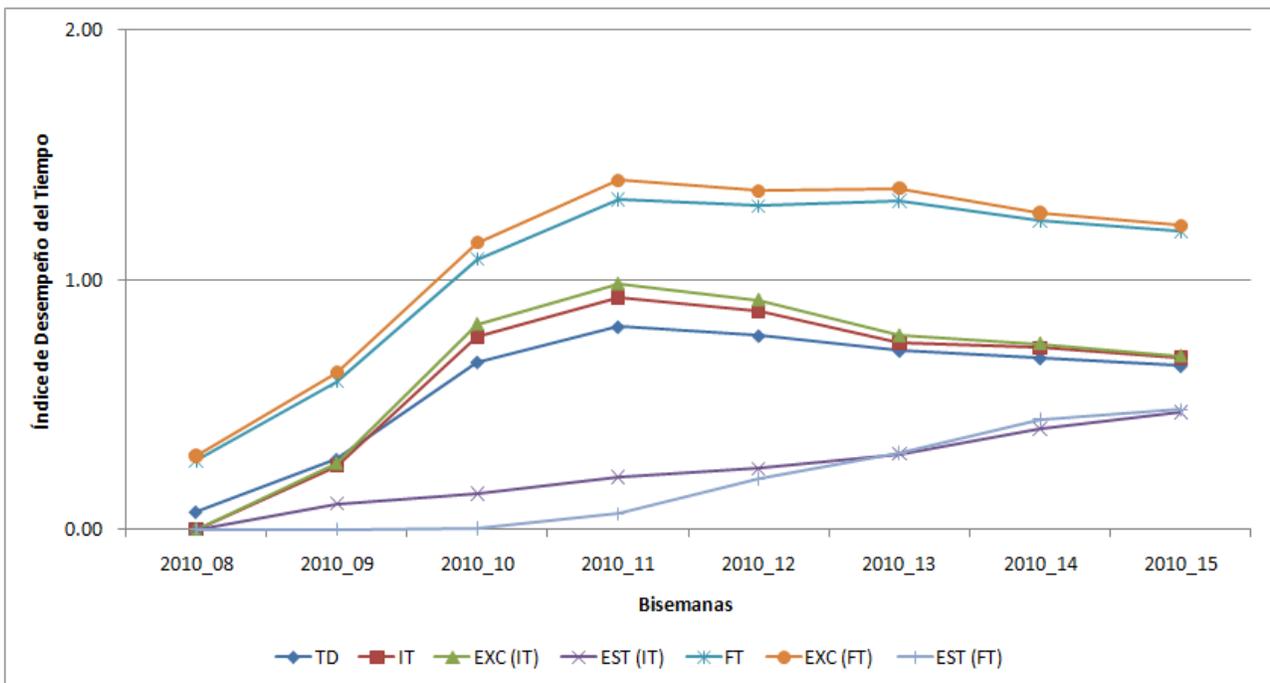


Figura 17. Índices de desempeño del tiempo entre la bisemana 8 y 15.

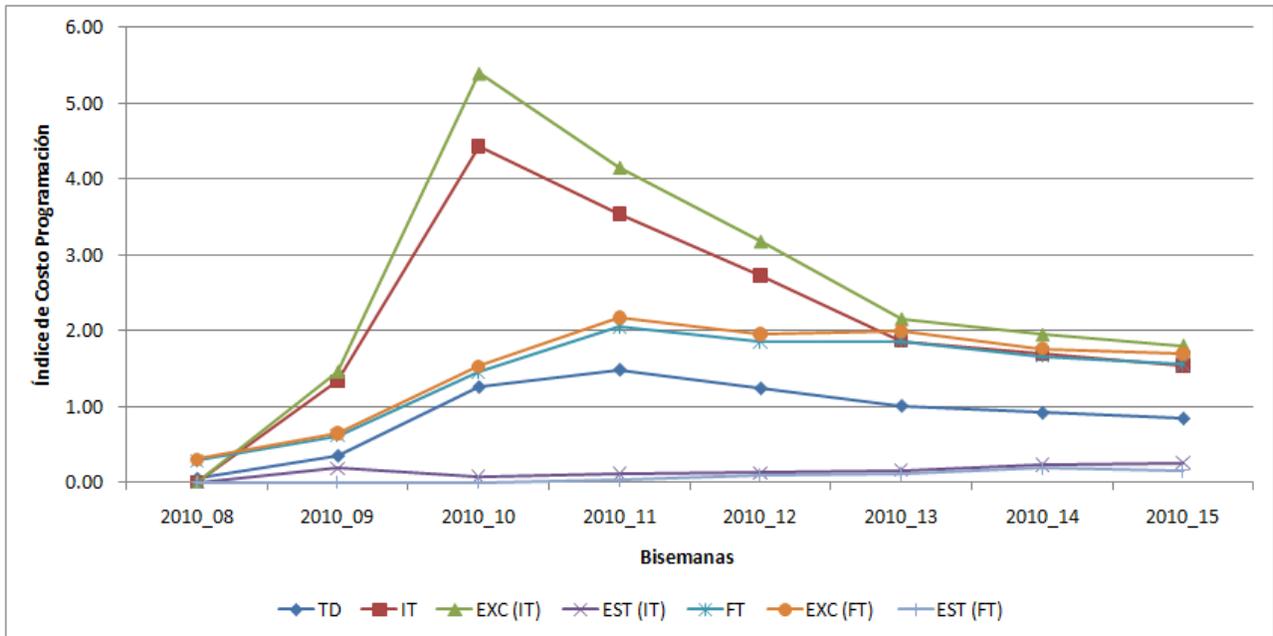


Figura 18. Índices de costo programación obtenidos entre las bisemanas 8 y 15.

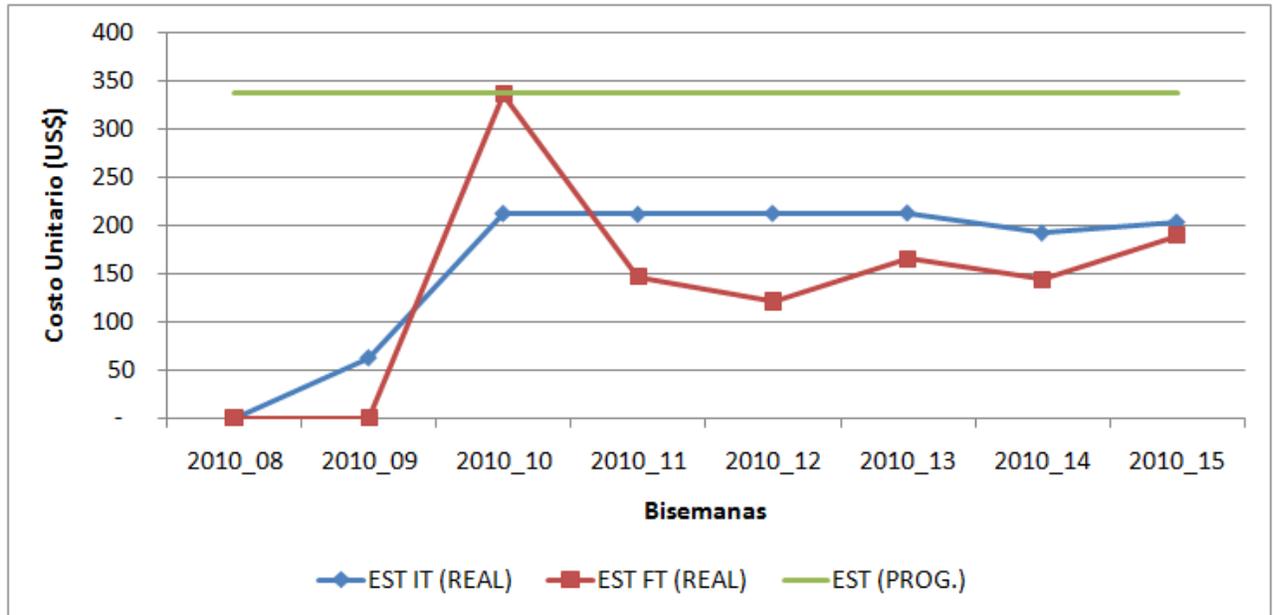


Figura 19. Costo unitario obtenido entre las bisemanas 8 y 15.

Cuadro 5. Nuevos índices ideales de desempeño del costo.

Actividad	IDC
Inicio de Túneles	0.93
Excavación IT	1.28
Estabilización IT	0.33
Final de Túneles	1.61
Excavación FT	0.75
Estabilización FT	0.18

## Bisemana 16

Cuadro 6. Índices de desempeño.

Actividad	IDC	IDT	ICP
Inicio de túneles	2.14	0.71	1.51
Excavación de IT	2.61	0.71	1.85
Estabilización de IT	0.45	0.52	0.23
Final de túneles	1.23	1.28	1.56
Excavación de FT	1.40	1.29	1.81
Estabilización de FT	0.23	0.64	0.15

Cuadro 7. Índices de desempeño (Estimación de Presupuesto Actualizado).

Actividad	IDC	IDT	ICP
Inicio de túneles	2,00	0,71	1,42
Excavación de IT	2,04	0,71	1,45
Estabilización de IT	1,37	0,52	0,71
Final de túneles	1,92	1,10	2,11
Excavación de FT	1,86	1,14	2,13
Estabilización de FT	1,30	0,57	0,74

Cuadro 8. Pronósticos del Costo al Término y de la Fecha de Terminación.

Actividad	PCT (\$)	PAT (\$)	PFT (Días)	Duración (Días)
Inicio de túneles	2,879,824	4,359,952	358	253
Excavación de IT	2,094,658	3,882,206	243	172
Estabilización de IT	1,182,199	277,431	331	172
Final de túneles	1,564,658	2,448,480	181	206
Excavación de FT	1,161,089	2,098,003	163	187
Estabilización de FT	1,019,579	150,162	330	187

## Bisemana 17

Cuadro 9. Índices de desempeño.

Actividad	IDC	IDT	ICP
Inicio de túneles	2.13	0.70	1.50
Excavación de IT	2.64	0.70	1.85
Estabilización de IT	0.45	0.56	0.25
Final de túneles	1.20	1.08	1.30
Excavación de FT	1.40	1.08	1.51
Estabilización de FT	0.25	0.66	0.16

Cuadro 10. Pronósticos del Costo al Término y de la Fecha de Terminación.

Actividad	PCT (\$)	PAT (\$)	PFT (Días)	Duración (Días)
Inicio de túneles	2,914,793	4,359,952	361	253
Excavación de IT	2,099,448	3,882,206	246	172
Estabilización de IT	1,089,967	277,431	307	172
Final de túneles	1,881,479	2,448,480	190	206
Excavación de FT	1,392,882	2,098,003	173	187
Estabilización de FT	920,904	150,162	284	187

## Bisemana 18

Cuadro 11. Índices de desempeño.

Actividad	IDC	IDT	ICP
Inicio de túneles	2.13	0.70	1.48
Excavación de IT	2.70	0.68	1.85
Estabilización de IT	0.48	0.65	0.31
Final de túneles	1.18	1.04	1.22
Excavación de FT	1.39	1.03	1.42
Estabilización de FT	0.25	0.71	0.18

Cuadro 12. Pronósticos del Costo al Término y de la Fecha de Terminación.

Actividad	PCT (\$)	PAT (\$)	PFT (Días)	Duración (Días)
Inicio de túneles	2,941,143	4,359,952	364	253
Excavación de IT	2,100,100	3,882,206	252	172
Estabilización de IT	904,389	277,431	267	172
Final de túneles	2,003,945	2,448,480	198	206
Excavación de FT	1,473,668	2,098,003	182	187
Estabilización de FT	849,754	150,162	263	187

## Bisemana 19

Cuadro 13. Índices de desempeño.

Actividad	IDC	IDT	ICP
Inicio de túneles	2.07	0.67	1.39
Excavación de IT	2.73	0.66	1.79
Estabilización de IT	0.44	0.66	0.29
Final de túneles	1.20	1.00	1.20
Excavación de FT	1.41	1.00	1.40
Estabilización de FT	0.27	0.76	0.20
Dique de FT	0.00	0.00	0.00
Excavación T2 FT	2.91	∞	∞

Cuadro 14. Pronósticos del Costo al Término y de la Fecha de Terminación.

Actividad	PCT (\$)	PAT (\$)	PFT (Días)	Duración (Días)
Inicio de túneles	3,133,782	4,359,952	377	253
Excavación de IT	2,164,676	3,882,206	262	172
Estabilización de IT	965,751	277,431	262	172
Final de túneles	2,048,681	2,448,480	206	206
Excavación de FT	1,493,487	2,098,003	188	187
Estabilización de FT	743,069	150,162	247	187
Dique de FT	∞	148,598	∞	23
Excavación T2 FT	661,162	1,926,320	-	206

## Bisemana 20

Cuadro 15. Índices de desempeño.

Actividad	IDC	IDT	ICP
Inicio de túneles	1.99	0.70	1.40
Excavación de IT	2.74	0.68	1.87
Estabilización de IT	0.39	0.71	0.28
Final de túneles	1.16	0.93	1.07
Excavación de FT	1.41	0.95	1.34
Estabilización de FT	0.25	0.79	0.20
Dique de FT	0.00	0.00	0.00
Excavación T2 FT	2.40	∞	∞

Cuadro 16. Pronósticos del Costo al Término y de la Fecha de Terminación.

Actividad	PCT (\$)	PAT (\$)	PFT (Días)	Duración (Días)
Inicio de túneles	3,124,315	4,359,952	361	253
Excavación de IT	2,073,887	3,882,206	252	172
Estabilización de IT	987,099	277,431	242	172
Final de túneles	2,283,274	2,448,480	222	206
Excavación de FT	1,565,035	2,098,003	196	187
Estabilización de FT	766,454	150,162	237	187
Dique de FT	∞	148,598	∞	23
Excavación T2 FT	801,130	1,926,320	-	206

# Bisemana 21

Cuadro 17. Índices de desempeño.

Actividad	IDC	IDT	ICP
Inicio de túneles	1.73	0.74	1.28
Excavación de IT	2.74	0.72	1.96
Estabilización de IT	0.29	0.79	0.23
Final de túneles	1.04	0.90	0.94
Excavación de FT	1.40	0.94	1.32
Estabilización de FT	0.18	0.82	0.15
Dique de FT	0.00	0.00	0.00
Excavación T2 FT	1.96	∞	∞

Cuadro 18. Pronósticos del Costo al Término y de la Fecha de Terminación.

Actividad	PCT (\$)	PAT (\$)	PFT (Días)	Duración (Días)
Inicio de túneles	3,394,419	4,359,952	342	253
Excavación de IT	1,979,702	3,882,206	240	172
Estabilización de IT	1,214,763	277,431	218	172
Final de túneles	2,601,077	2,448,480	228	206
Excavación de FT	1,590,754	2,098,003	198	187
Estabilización de FT	1,007,611	150,162	228	187
Dique de FT	∞	148,598	∞	23
Excavación T2 FT	982,729	1,926,320	-	206

Cuadro 19. Resumen del plan, el estado y la proyección de la obra.

Actividades	Planeado		Estado		Proyección	
	Avance	Costo (US\$)	Avance	Costo (US\$)	Costo (US\$)	Tiempo (días)
Túneles de Desvío	11,81%	6.573.043	11,2%	4.028.190	614.972	-
Inicio de túneles	98,44%	4.159.637	71,27%	1.776.381	965.172	-89
Excavación de IT	100,00%	3.882.206	71,65%	1.017.210	1.902.504	-68
Estabilización de IT	100,00%	277.431	79,48%	759.171	(937.332)	-46
Final de túneles	98,83%	2.413.406	89,09%	2.091.137	(350.200)	-22
Excavación de FT	100,00%	2.098.003	94,25%	1.412.992	507.249	-11
Estabilización de FT	100,00%	150.162	81,47%	678.146	(857.449)	-41
Túneles de Desvío	0,00%	-	16,36%	160.672	-	-
Excavación T2 FT	0,00%	-	16,36%	160.672	-	-

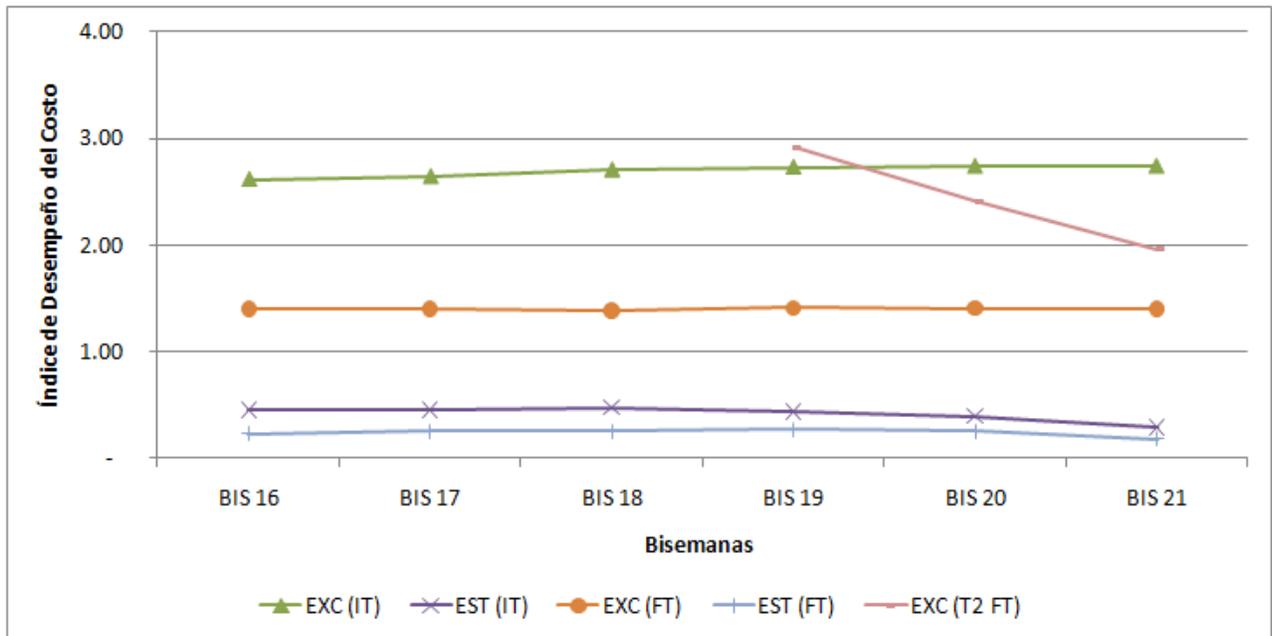


Figura 20. Comportamiento histórico del índice de desempeño del costo.

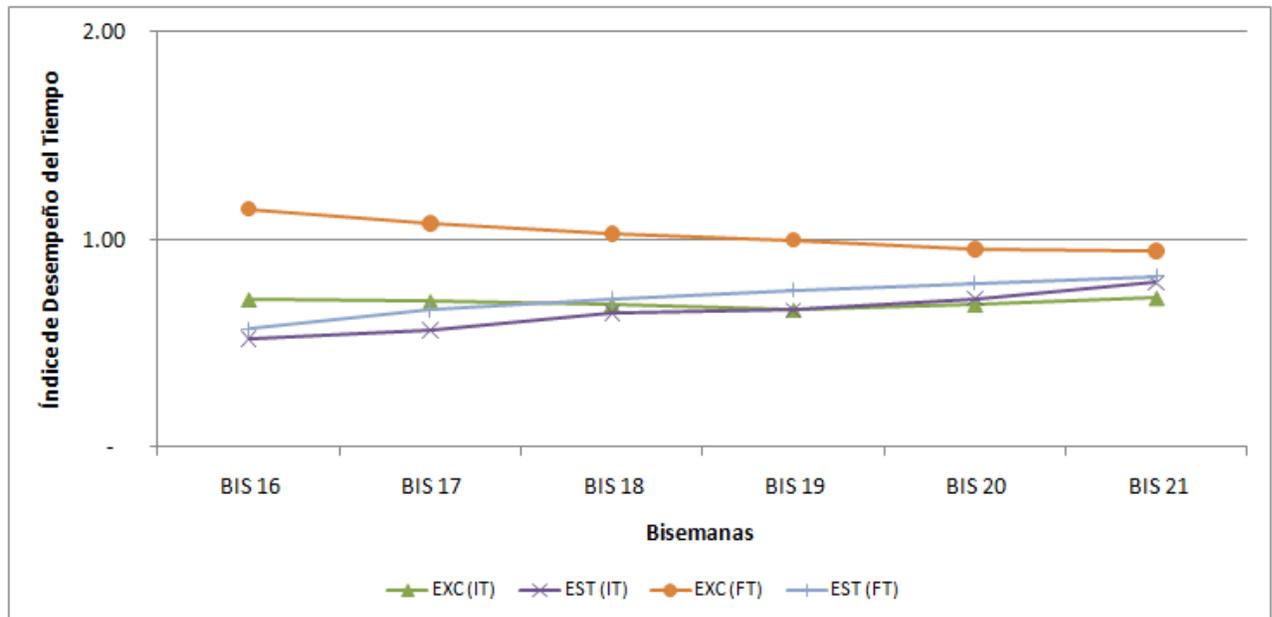


Figura 21. Comportamiento histórico del índice de desempeño del tiempo.

# Análisis de resultados

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos de la siguiente manera. Se iniciará con el análisis de los datos de las primeras ocho bisemanas (8-15), que muestran la situación de la obra antes de dar comienzo con el proyecto de graduación.

Seguidamente se analizarán los datos de las bisemanas de 16, 17, 18, 19, 20 y 21 respectivamente.

Y por último se realiza un análisis comparativo del comportamiento de los indicadores de desempeño hasta la bisemana 21.

## Bisemanas 8-15

Con el fin de conocer el comportamiento (avance y costo) de las distintas actividades en ejecución se decidió implementar las formulaciones de valor ganado.

En la Figura 13, se muestran las curvas de valor planeado, costo actual y valor ganado, donde se observa que para la bisemana 15, el valor ganado se encuentra por debajo de la curva de valor planeado, pero por encima del costo actual.

Esto significa que los túneles de desvío (como obra) para esa fecha de corte poseen un menor costo del programado, pero un atraso con respecto al cronograma.

La Figura 14, muestra la variación del costo de las sub obras y de todas las actividades en ejecución a la fecha de corte, en él se puede observar que, con excepción de las dos estabilizaciones de taludes, todas las curvas se encuentran por encima de cero y los valores en el eje vertical, muestran el incremento o la disminución del costo con respecto a la programación.

Por otro lado, en la Figura 15, se puede observar que todas las curvas excepto la de sub

obra FT y la excavación del FT, se encuentran por debajo de cero en el eje vertical; se refleja también en términos monetarios el adelanto o atraso de cada actividad con respecto a la planeación.

Es preciso denotar que en los dos gráficos anteriormente analizados, tanto la excavación del IT como la del FT representan el 88% y 86% respectivamente, del peso de las cinco actividades que la conforman, por esta razón la tendencia de las líneas de excavación es muy similar a la línea de su respectiva sub obra.

Las razones de este comportamiento se discutirán más adelante, ya que están directamente relacionadas con los índices de desempeño.

En la Figura 16, se muestra el comportamiento histórico del índice de desempeño del costo hasta la bisemana 15, para las sub obras y sus respectivas actividades en ejecución.

Se puede observar además, que en la excavación del IT, el costo del trabajo realizado (V.G.) es muy grande en relación con el costo actual en la bisemana 9, luego disminuye para la bisemana 10 y continúa reduciéndose con una tendencia a estabilizarse en un valor cercano a 2,7 en las últimas tres bisemanas

Una parte de este comportamiento se debe a que en la bisemana 9, la cantidad de obra realizada fue apenas un 54% de la que estaba programada, esto hace que el costo real para esta bisemana sea muy pequeño y provoca que el índice se distancie mucho de la unidad,.

En la bisemana 10, la cantidad de obra prácticamente se triplicó por lo que el índice disminuye significativamente y conforme pasan los días, la cantidad de obra aumenta a un ritmo similar por lo que en las últimas bisemanas tienden a estabilizarse.

Otro motivo de este comportamiento es que la cantidad de obra presupuestada fue de

356 186 m<sup>3</sup> de excavación, pero en realidad son apenas 278 000 m<sup>3</sup>.

Además debe considerarse el grado de dificultad con el que se programó, ya que, se estimó que los cortes serían más complejos. La reducción del volumen por excavar y la mayor trabajabilidad para esta actividad se deben básicamente al tipo de material del sitio y a un cambio en la construcción de las compuertas, ya que, inicialmente se planeó excavar un pozo mediante el cual se construiría la estructura de compuertas, éste requeriría una mayor excavación, sin embargo ésta idea se modificó y luego se decide construir una torre de compuertas al inicio de los túneles.

En el caso de la excavación del FT, sucede algo diferente, ya que, en las primeras dos bisemanas el monto de valor ganado es prácticamente igual al costo real requerido para ejecutar los trabajos. Esto se debe a que en ellas se estaba ejecutando una menor cantidad de obra con respecto a la programación, pero el monto presupuestado se programó para una menor cantidad de obra que la cantidad real por ejecutar.

Ya para la bisemana 10 se empieza a ejecutar una mayor cantidad de obra que la planeada lo que incrementa el valor ganado y genera índices por encima de la unidad con una tendencia a disminuir, cerrando en un valor alrededor de 1,4 en la última bisemana (15).

Cabe mencionar que para esta actividad se presupuestó basándose en un volumen de excavación de 258 948 m<sup>3</sup> aproximadamente, y que requeriría de un alto consumo de explosivos para llevarla a cabo. Y la situación real consiste en excavar 344 000 m<sup>3</sup>, pero el uso de explosivos para realizarla ha sido nula, debido al tipo de material (suelo), lo que genera un costo menor al planeado.

También, en la Figura 14, se observan que las dos líneas de estabilización de taludes, poseen prácticamente la misma tendencia, excepto en la bisemana 9, en la cual la línea de estabilización del IT sube casi a 1,8. Esto se debe a que el costo actual para esta bisemana, fue muy bajo, debido a que no se cargó el costo que corresponde a equipo ni a materiales.

Ya para la bisemana 10, la cantidad de obra aumentó prácticamente al doble de la anterior, pero los costos aumentaron casi 9 veces, por lo que el índice de desempeño del

costo baja casi a 0,5 y se mantiene prácticamente constante hasta la bisemana 15.

Este valor indica que la actividad posee el doble del costo programado; sin embargo, al revisar el costo unitario (Figura 19), se obtiene que el costo unitario real es mucho menor que el presupuestado, es decir, se está trabajando con un menor costo.

Aunque el párrafo anterior parece una contradicción, no lo es, ya que este comportamiento se debe a que la cantidad programada para medir el avance de la actividad, es de 2 500m<sup>3</sup>, por lo que la del costo programado debería de ser de \$844,200. No obstante, la cantidad de obra programada para elaborar el presupuesto de la actividad fue de 822m<sup>3</sup>, y para llevarla a cabo se planeó un costo de \$277,431.

Por este motivo, al calcular el valor ganado con base en este presupuesto (\$277,431), el índice tiende a estabilizarse en un valor que ronda 0,5 cuando realmente equivale a 1,5, ya que, la cantidad de obra real para medir el avance es aproximadamente, tres veces mayor que la cantidad programada.

Por otro lado, la línea de estabilización del FT se mantiene con un valor de cero para las dos primeras bisemanas, pues no se trabajó.

Para la bisemana 10, sucede lo mismo que en la excavación del IT. La cantidad de obra programada para obtener el presupuesto de la actividad fue de 445m<sup>3</sup>, y la cantidad de obra planeado para medir el avance es de 2 500m<sup>3</sup> por lo que el costo programado también debería de ser \$844,200.

Sin embargo, se utiliza un presupuesto de \$150,162, por lo que el índice de 0,18 en realidad es prácticamente 0,9.

No obstante, en la Figura 19, se denota que el costo unitario para esta bisemana es casi el programado, esto se debe a un error a la hora de cargar los costos de equipo y materiales, en realidad el costo real para esta bisemana fue menor.

En lo que respecta a las siguientes bisemanas, se obtuvo un ritmo constante de cantidad de obra lo que provoca un índice de desempeño del costo con tendencia a 0,35, que en realidad corresponde a 1,75 aproximadamente.

En la Figura 17, para la excavación del IT se refleja un atraso significativo que se logra contrarrestar hasta la bisemana 11, pero

nuevamente a partir de la bisemana siguiente, comienza a retrasarse.

El atraso inicial se debe básicamente a la poca disponibilidad de equipo para realizar el trabajo; con el paso del tiempo se fue adicionando más equipo lo que mejoró notablemente el rendimiento de la actividad; pero en las últimas 4 bisemanas el atraso se debe a que ésta depende directamente de la estabilización la cual posee un retraso importante.

Por el contrario, la línea de excavación del FT, a pesar de contar con poca maquinaria para arrancar, logró superar el atraso para finales de la bisemana 9 y para la siguiente ya contaba con un adelanto significativo y se mantiene hasta la bisemana 15 con un valor cercano a 1,3.

Esto se debe a que dicha actividad no depende directamente de la estabilización.

En La Figura 18, se muestra el comportamiento del índice de costo programación; se observa claramente, que la tendencia de las líneas es muy similar a las de la Figura 16, donde casi las dos actividades finalizan en un mismo valor, alrededor de 1,7.

Este último valor, se encuentra por fuera del rango de tolerancia según la teoría, sin embargo, se justifica por las premisas anteriores.

Si se observa la Figura 17, se nota que la estabilización del IT no inició como se tenía programado (bisemana 8) y la estabilización del FT se atrasó casi tres bisemanas. Esto se debe a que no se contaba con la maquinaria ni el equipo para comenzar los trabajos.

A partir de la bisemana 9, la línea se comporta con pendiente positiva, sin embargo, se mantiene con valores por debajo de la unidad lo que reafirma que sigue atrasada. Esto se debe a que las condiciones geológicas encontradas son menos favorables de lo planeado, lo que implica un bajo rendimiento en su ejecución.

Para la estabilización del FT, es hasta en la bisemana 11 que se empieza a levantar la línea y al igual que la otra estabilización, aunque tiende a comportarse con pendiente positiva hasta la bisemana 15, continúa atrasada con respecto a la programación y se justifica por los problemas que generan las condiciones geológicas del sitio.

En la Figura 18, se muestra que ambas líneas poseen un índice de costo programación promedio muy bajo; esto significa que de seguir con esta tendencia, la probabilidad de recuperarse es muy pequeña.

En relación con todo lo discutido sobre los índices de desempeño, el equipo de planeamiento y control junto con el ingeniero a cargo de la obra llegaron a la conclusión de que los presupuestos para cada actividad se mantendrán hasta que se realice un análisis detallado de todas las premisas de diseño. Este estudio queda por fuera del alcance de este proyecto de graduación, y será realizado por otra persona.

Por este motivo, se tomó la decisión que a partir de la bisemana 16, los índices de desempeño del costo para cada actividad, se compararán contra valores ideales distintos al propuesto por la teoría, es decir, diferentes a la unidad. Estos valores se definieron para cada actividad de la siguiente manera. Se multiplicaron el costo unitario programado por la cantidad de obra programada brindada por el encargado de obra (presupuesto estimado) y por último se divide el presupuesto de la actividad entre el presupuesto estimado para obtener el nuevo índice.

Para aclarar la idea, se presenta el cálculo del nuevo índice de desempeño de costo y tiempo para la excavación del IT.

El costo unitario programado es de 10,9 y la cantidad de obra programa para ejecutar según el encargado de la obra es de 278 000m<sup>3</sup>. El producto de estos dos valores (presupuesto estimado) es \$3,030,200.00. Al dividir \$3,882,206.00 (presupuesto de la actividad) entre \$3,030,200.00, genera un nuevo valor de 1.28.

Cabe denotar que el índice de desempeño del tiempo no se ve afectado pues su formulación depende tanto en su numerador como en su denominador (V.G./V.P.) del presupuesto de la actividad, por lo que el efecto se cancela.

En el Cuadro 5, se observan los nuevos índices para cada actividad.

Adicionalmente, con el fin de ilustrar la correcta metodología para aplicar la herramienta tal como lo describe la teoría, para la bisemana 16, en el Cuadro 7, se muestran los índices de desempeño del costo que se obtendrían si se modificaran los montos del presupuesto para cada actividad mediante órdenes de cambio.

Es preciso recordar, como se menciona anteriormente, que esta modificación del presupuesto para cada actividad no es una reprogramación oficial, es una aproximación basada en el costo unitario programado.

# Bisemanas 16-21

Este proyecto de graduación se enfoca en el seguimiento desde la bisemana 16 hasta la 21, donde se realizó el análisis de valor ganado para cada una de ellas.

Sin embargo, como se mencionó anteriormente, el presupuesto de las actividades no se modificó, por lo que los montos de valor ganado y valor planeado no son comparables (VC y VT).

Por esta razón, en este apartado sólo se analizaron los índices de desempeño y sus respectivos pronósticos al término y de fecha de terminación.

Adicionalmente, para la bisemana 16, se realizó el cálculo de los índices de desempeño que se obtendrían, si se realizara una actualización del presupuesto para cada actividad; con el objetivo de ejemplificar. Cabe aclarar que esta actualización es una simple estimación, basada en el costo unitario programado para la actividad por la nueva cantidad de obra por realizar.

## Bisemana 16

### Excavación del IT

En la bisemana 16, la excavación del IT, según el Cuadro 6, presenta un índice de desempeño costo de 2,6, esto significa que al compararlo con el nuevo índice ideal (1,3), se determina que para esta fecha de corte, la excavación está costando alrededor de la mitad del costo planeado. La razón por la que dicha actividad posee un costo menor es prácticamente que las condiciones geológicas encontradas son más favorables de lo pensado.

Dicho índice es similar al obtenido en las bisemanas anteriores, donde tiende a estabilizarse (13-15).

El índice de desempeño del tiempo obtenido para esta bisemana es de 0,7, esto significa que la actividad va retrasada, se encuentra fuera del rango de tolerancia; esto se debe básicamente al tipo de material de sitio, ya

que éste presenta menor trabajabilidad de la planeada y por esta razón el ritmo de la excavación es definido por la estabilización de taludes.

El producto de estos dos indicadores, es decir, el índice de costo programación es de 1,9 (redondeado), lo que muestra que dicha actividad se encuentra en forma integral (costo y tiempo) a la fecha de corte, en una condición más favorable que la planeada; sin embargo, es importante destacar que si la actividad continúa con este comportamiento se atrasará de manera considerable.

### Excavación del FT

Para la excavación del FT, se obtuvo un índice de desempeño del costo de 1,4 y un índice de desempeño del tiempo de 1,3. Esto significa que esta excavación está costando menos de lo programado, prácticamente la mitad y posee un adelanto importante respecto a la programación.

Este comportamiento se debe a la mayor trabajabilidad que está presentando el material en sitio, eso permite excavar más rápido y sin usar explosivos, lo que disminuye significativamente los costos.

Y el índice de costo programación es de 1,81 muestra que la actividad está ejecutándose de forma más eficiente tanto en costo como en tiempo.

### Estabilización del IT

En lo que respecta a la estabilidad de taludes del IT, se obtuvo un índice de desempeño del costo igual al del tiempo, cuyo valor es 0,5. Esto representa un menor costo, pero un retraso de aproximadamente el 50% con respecto a lo programado.

Este costo menor se debe básicamente, a que el costo real del m<sup>3</sup> de concreto lanzado es de \$100 aproximadamente y el presupuestado fue de \$120, lo que representa un ahorro de \$20 por cada metro cúbico de concreto colocado.

Este índice refleja el problema que se viene arrastrando desde el inicio de la actividad, ya que, la ejecución de la obra empezó una bisemana después de lo planeado y sus primeras bisemanas obtuvo rendimientos muy bajos debido a la poca disponibilidad de equipo.

El índice de costo programación obtenido es de 0,2 (redondeado) lo que representa que la actividad está en forma integral (costo y tiempo) fuera del rango de tolerancia y por ende, la probabilidad de recuperarse es baja.

## **Estabilización del FT**

Para la estabilización del FT, el índice de desempeño del costo es de 0,2 y el índice de desempeño del tiempo es de 0,6, es decir, posee un costo muy similar al planeado, pero se encuentra retrasada en un 40%.

Al igual que con la estabilización del inicio de túnel, el costo real del concreto lanzado es menor por lo que el índice está un poco por encima del ideal.

Al igual que la estabilización de inicio de túnel, el retraso en las primeras bisemanas no se ha podido mitigar.

Para esta actividad se obtuvo un índice de costo programación de 0,2 (redondeado) por lo que la actividad se está ejecutando muy acorde con la planeación.

## **Inicio y final de Túneles**

En el Cuadro 6, se observa que para la sub obra "Inicio de Túneles", el índice de costo programación es de 1,5, es decir que como sub obra integralmente se encuentra en mejores condiciones de lo planeado.

Para la sub obra "Final de Túneles", el índice de costo programación es de 1,6, por lo que como sub obra, se encuentra muy apegado a la planeación.

## **Túneles de Desvío**

En el Cuadro 8, se muestra el comportamiento que producen los índices anteriormente discutidos en los Túneles de Desvío (obra), ya que, aunque su pronóstico del costo al término es

de \$42,370,375.00, su pronóstico de fecha de terminación es de 1039 días laborables. En otras palabras, si el comportamiento de las actividades continuara con la tendencia de esta bisemana el proyecto terminaría casi un año y cuatro meses más tarde de la fecha planeada y con un ahorro de \$950.278.

Con base en los resultados analizados se recomienda, buscar alternativas para aumentar el ritmo de trabajo en la excavación del IT y en la estabilidad de taludes tanto del IT como del FT.

También se recomienda revisar junto con los encargados de obra la manera en que se está recolectando la información.

## **Bisemana 17**

### **Excavación del IT**

Para esta actividad se obtuvo un índice de desempeño del costo de 2,6, se mantiene igual que la bisemana anterior. Lo mismo sucede con el índice de desempeño del tiempo, ya que, éste es de 0,7.

### **Excavación del FT**

Con respecto a la excavación del FT, el índice de desempeño del costo es de 1,4 y el índice de desempeño del tiempo es de 1,1.

Si se compara con la bisemana anterior, se nota que en costo, el comportamiento no varía y en lo que respecta al índice de desempeño del tiempo, el índice bajó un poco; sin embargo sigue por arriba de 0,75, es decir sigue adelantada.

El índice de costo programación bajó un poco, se obtuvo un valor de 1,5 pero aún permanece por encima de la planeación.

### **Estabilización del IT**

En lo que respecta a la estabilidad de taludes del IT, se obtuvo un índice de desempeño del costo de 0,5, se mantuvo igual, pero el índice de desempeño del tiempo fue de 0,6 (redondeado) lo que muestra una pequeña mejoría en

comparación con la bisemana anterior, sin embargo, continúa retrasada.

El índice de costo programación obtenido es de 0,3 esto representa que la actividad, en forma integral (costo y tiempo), se asemeja mucho a la programación.

## **Estabilización del FT**

Si se compara con la bisemana anterior, el índice de desempeño del costo aumentó muy poco, apenas alcanza un valor de 0,3 (redondeado).

Por otro lado, el índice de costo de desempeño del tiempo subió a 0,7, esto se debe a las condiciones de sitio, las cuales para esta bisemana permitieron alcanzar mejores rendimientos.

## **Inicio y final de Túneles**

En el Cuadro 9, se muestra que para la sub obra "Inicio de Túneles", el índice de costo programación se mantiene igual a la bisemana 16.

Para la sub obra "Final de Túneles", el índice de costo programación es de 1,3. Éste bajó en comparación con la bisemana anterior pero se mantiene dentro del rango de tolerancia.

## **Túneles de Desvío**

En el Cuadro 10, se observa que el comportamiento de las actividades a esta fecha de corte generan para los Túneles de Desvío (obra), un pronóstico del costo al término de \$42 416 052, su pronóstico de fecha de terminación es de 982 días laborables.

Si la obra continuara con esta tendencia, ésta se terminaría con un retraso de un año y mes aproximadamente y con un ahorro de \$904 601.

Para esta bisemana se mantienen ambas recomendaciones brindadas para la bisemana 16.

# **Bisemana 18**

## **Excavación del IT**

Para esta actividad se obtuvo un índice de desempeño del costo de 2,7, por lo que se mantiene la tendencia de las últimas cinco bisemanas. El índice de desempeño del tiempo no cambió con respecto a la bisemana 17.

## **Excavación del FT**

Para esta bisemana, el índice de desempeño del costo se mantiene igual que la bisemana anterior y el índice de desempeño del tiempo baja a 1,0, esto tiene que ver con las condiciones geológicas que disminuyen un poco el rendimiento, no obstante este valor indica un comportamiento muy similar al planificado.

## **Estabilización del IT**

Para la estabilidad de taludes del IT, se obtuvo un índice de desempeño del costo de 0,5, se mantuvo igual; pero el índice de desempeño del tiempo es de 0,7, esto se debe a que el trazado definido para la estabilización cambió debido al tipo de material, lo que provoca un aumento en la cantidad de obra en comparación con la anterior y continúa la tendencia a aumentar.

El índice de costo programación se mantiene en 0,3.

## **Estabilización del FT**

En comparación con la bisemana anterior, el índice de desempeño del costo se mantiene en 0,3 (redondeado) y el índice de desempeño del tiempo continúa aumentando, por lo que se mantiene la tendencia de las últimas siete bisemanas.

## Inicio y Final de Túneles

Para el “Inicio de Túneles”, en el Cuadro 11, se muestra el índice de costo programación es prácticamente el mismo de las dos bismanas anteriores.

Para la sub obra “Final de Túneles”, el índice de costo programación es de 1,2, este valor ya empieza a marcar una tendencia con una leve pendiente negativa, esto se debe a los pequeños cambios en el índice de desempeño del costo. Este dato se sale del rango de tolerancia para esta bisemana.

## Túneles de Desvío

El Cuadro 12, muestra que el pronóstico del costo al término es de \$42 240 762; el pronóstico de fecha de terminación es de 935 días laborables.

En resumen, de mantenerse este comportamiento para las futuras bismanas, la obra se atrasaría un poco más de 11 meses y se ahorrarían \$1 079 891.

Si se hace una comparación entre estas últimas tres bismanas, la tendencia de la obra es a recuperar el atraso y a cerrar con un costo menor.

En esta bisemana es fácil observar que se está disminuyendo el retraso de la obra, por lo que se recomienda seguir pendiente del sistema de recolección y digitación de los datos de campo.

## Bisemana 19

### Excavación del IT

La situación para esta bisemana no varía con respecto a la bisemana anterior.

### Excavación del FT

Se mantiene con los mismos índices de desempeño que la bisemana 18.

## Estabilización del IT

En lo que respecta a la estabilidad de taludes del IT, en esta bisemana se obtuvo el índice de desempeño del costo de 0,4; disminuyó un poco con respecto a las bismanas anteriores, sin embargo, se mantiene con un costo menor al programado.

El índice de desempeño del tiempo se mantuvo en 0,7 lo cual no muestra un porcentaje de avance como el que se presentó en las tres bismanas anteriores.

## Estabilización del FT

En comparación con la bisemana 18, el índice de desempeño del costo se mantiene igual, pero el índice de desempeño del costo aumentó a 0,8, gracias al cambio mencionado en la bisemana anterior de la línea de estabilización.

## Dique de protección FT

Para esta bisemana se programó el inicio del dique de protección de final de túnel, sin embargo no fue necesario debido a que se decidió no excavar un cierto volumen del material que se encuentra en contacto con el río por lo que este funciona como dique. Por esta razón, en el Cuadro 13 se muestra que tanto el índice de desempeño del costo como el del tiempo son iguales a 0,0 y esto sucede porque al poseer un 0% de avance el valor ganado es igual a cero.

Cabe denotar que a pesar de que esta actividad posee un retraso, éste no afecta significativamente el comportamiento de la sub obra, pues apenas equivale a un 2% del peso de ésta

## Excavación Túnel 2 FT

En esta bisemana se inicia la excavación del túnel 2, el cual como se observa en el Cuadro 13, posee un índice de desempeño del costo de 2,9 por lo que se puede afirmar que está costando el 34% del costo programado.

Es necesario aclarar que los costos obtenidos para esta actividad no consideran el

costo de los arcos para el soporte ni el costo del alquiler de la maquinaria ICE, estos dos costos son bastante significativos, por lo que en realidad este índice no muestra la verdadera situación.

Se estima que en para la bisemana 22 se cuente con los costos reales totales de esta actividad.

En lo que respecta al índice de desempeño del tiempo tiende a infinito, esto se debe a que el valor planeado para esta bisemana es cero, es decir, porque la actividad se adelantó a la planeación.

## Inicio y final de Túneles

En el Cuadro 13, se muestra que para la sub obra "Inicio de Túneles", el índice de costo programación es de 1,4, sin embargo, sigue presentando mejores condiciones que las planeadas.

Para la sub obra "Final de Túneles", el índice de costo programación se mantiene igual que la bisemana anterior.

Es importante recalcar que a pesar de que las actividades de excavación y estabilización de taludes del final de los túneles posee un 90% de su ejecución, la excavación subterránea del túnel de desvío 2 ya inició, por lo que, se puede afirmar que a partir de esta bisemana el retraso que señalan los índices de desempeño del tiempo en ambas actividades, no generan un retraso crítico, pues estas actividades poseen holgura.

## Túneles de Desvío

En esta bisemana, el comportamiento de los Túneles de Desvío (obra) genera un pronóstico del costo al término de \$42,279,834.00, su pronóstico de fecha de terminación es de 869 días laborables, como se muestra en el Cuadro 14.

Si la obra continuara con esta tendencia, los túneles de desvío tendrían un atraso de ocho meses aproximado, pero se ahorrarían \$1,408,819.

Se debe aclarar que para estos dos pronósticos no se tomó en consideración el comportamiento del túnel de desvío 2, debido a que su costo real se encuentra incompleto.

Ya para esta bisemana si bien, se sigue manteniendo un costo menor, el retraso persiste, por lo que se recomienda coordinar una reunión, con el encargado de obra para determinar el plan de acción, definir la importancia de este atraso y de considerarse necesario, analizar las alternativas para mejorar los rendimientos en la excavación y las estabilizaciones de taludes del IT.

Además se recomienda esforzarse por incorporar el costo de los arcos de soporte y determinar la tarifa del equipo ICE, ya que, se conoce que este costo es muy importante, pues sin ellos, el índice de desempeño del costo del túnel 2 no resulta útil, pues los datos de costo actual están incompletos.

## Bisemana 20

### Excavación del IT

Para esta bisemana se mantiene su índice de desempeño del costo y tiempo constante como se viene comportando desde la bisemana 16.

### Excavación del FT

La situación para esta bisemana no varía con respecto a las últimas bisemanas (16-19).

### Estabilización del IT

En lo que respecta a la estabilidad de taludes del IT, en esta bisemana el índice de desempeño del costo se mantiene en 0,4,

Al igual que en la bisemanas anteriores, el índice de desempeño del tiempo se mantuvo en 0,7.

### Estabilización del FT

Esta actividad presenta los mismos índices de desempeño de costo y tiempo de la bisemana anterior.

## Dique de Protección FT

Para esta bisemana, esta actividad aún no se inicia, por lo que sus índices de desempeño se mantienen en cero.

## Excavación Túnel 2 FT

En esta bisemana la excavación del túnel 2 posee un gran avance, no obstante los costos aumentaron significativamente, por lo que su índice de desempeño del costo es de 2,4. Esto se debe a que para la bisemana 19, se cargó incorrectamente la mano de obra, generando un menor costo del real para dicha fecha de corte.

Su índice del tiempo sigue con tendencia a infinito pues aún no existe valor planeado, ya que, su inicio está programado para la bisemana 22.

## Inicio y final de Túneles

En el Cuadro 15, se observa que para la sub obra "Inicio de Túneles", el índice de costo programación se mantuvo constante, mientras que para la sub obra "Final de Túneles", disminuyó a 1,1.

Para esta bisemana, el equipo de la oficina técnica, junto con el encargado de la obra, determinó que la cantidad de obra faltante de las actividades de excavación y estabilización de inicio de túnel no son críticas, pues la excavación subterránea de los túneles pueden iniciar sin problemas mientras se continúa con los trabajos de a cielo abierto (excavación y estabilización a cielo abierto).

## Túneles de Desvío

En el Cuadro 16, se muestra el comportamiento de los Túneles de Desvío (obra), con un pronóstico del costo al término de \$42,305,326.00; el pronóstico de fecha de terminación no es posible calcularse, ya que las excavaciones y estabilizaciones de inicio y final de túnel ya no son críticas y la excavación del túnel 2 está adelantada con respecto a la programación original.

Por esta razón, de mantener esta tendencia para el resto de la ejecución, se ahorrarían \$1,015,327.00 y aunque no se puede calcular un pronóstico de fecha de terminación, se puede afirmar que la obra terminaría antes de lo planificado.

Se recomienda continuar con el seguimiento de las actividades a cielo abierto del inicio y el final de túnel, para asegurarse que estas no se vuelvan actividades críticas y causen un atraso.

## Bisemana 21

### Excavación del IT

El índice de desempeño del costo, al igual que el índice de desempeño del tiempo, permanecen invariables para esta bisemana, con respecto a las anteriores.

### Excavación del FT

Para esta actividad el índice de desempeño del costo se mantiene en 1,4, y el índice de desempeño del tiempo se mantiene similar, con un valor de 0,9 (redondeado).

### Estabilización del IT

La estabilización de taludes del IT, para esta bisemana presenta un índice de desempeño de 0,3, lo que implica que disminuyó con respecto a la bisemana anterior (20).

Este comportamiento, se debe básicamente a un descargo de alimentación tardío de los costos correspondientes a materiales.

Por otro lado, el índice de desempeño del tiempo obtenido aumentó en relación con el de la bisemana anterior y su valor es de 0,8 y se debe a las condiciones favorables que ha venido presentando el material de sitio. Este valor se encuentra dentro del rango de tolerancia.

## Estabilización del FT

Con respecto a esta actividad, el índice de desempeño del costo disminuyó a 0,2. Esto se debe a que se realizó una aplicación tardía de los costos de materiales, pero se encuentra dentro del rango de tolerancia.

El motivo de esta disminución en el índice es el mismo de la estabilización del inicio de túnel.

El índice de desempeño del tiempo se mantiene igual que la bisemana anterior.

## Dique de Protección FT

Aun no se inician los trabajos en dique de protección.

## Excavación Túnel 2 FT

Esta actividad presenta un índice de desempeño del costo de 1,9, esto se debe (al igual que el caso de la estabilización de taludes) a una aplicación tardía en el costo de materiales, los cuales aumentan significativamente el costo actual para esta bisemana.

Como se comentó anteriormente, para esta bisemana todavía no se había planeado la ejecución de esta actividad, por lo que su índice del tiempo se mantiene igual a la bisemana anterior.

## Inicio y final de Túneles

Para la sub obra "Inicio de Túneles", como se muestra en el Cuadro 17, el índice de costo programación disminuyó a 1,3 y para la sub obra "Final de Túneles", disminuyó a 0,9.

## Túneles de Desvío

En el Cuadro 18, se observa que el pronóstico del costo al término para los Túneles de Desvío (obra) es de \$42,705,682.00, y no es posible calcular el pronóstico de fecha de terminación.

De continuar con este comportamiento, la obra terminaría con un ahorro de \$614.971.00, este es menor que el que se pronosticaba para la bisemana anterior; esto se debe a que las

estabilizaciones tanto de inicio de túnel como de final de túnel aumentaron un poco su costo actual.

En lo que respecta al tiempo, se observa que de mantener este comportamiento se estaría terminando antes de lo programado.

Para esta bisemana se recomienda reunirse con los encargados de la digitación de los costos de estas actividades, en especial la excavación subterránea del túnel de desvío, ya que, se encuentra apenas iniciando su ejecución y posee un gran porcentaje del costo de la obra.

Es recomendable solicitar que realicen su trabajo de forma más eficiente (al día), para que los costos que ingresen al sistema para cada bisemana sean lo más reales posibles.

Para terminar este capítulo y con el fin de ilustrar aún más la condición de la obra, se decidió analizar el comportamiento o tendencia que presentaron las cuatro actividades que se ejecutaron en las bisemanas de estudio.

En la Figura 20, se puede observar que las líneas que representan el índice de desempeño del costo de la excavación de inicio y final de túnel, se mantienen constantes, ambas por encima del valor ideal, lo que reafirma su menor costo. Además esta tendencia genera la expectativa de que ambas actividades terminen con un ahorro significativo con respecto a su costo programado.

Por otro lado, las estabilizaciones de inicio y final de túnel muestran un comportamiento muy estable hasta la bisemana 19, sin embargo, para la bisemana 20 y 21, el índice tiende a disminuir un poco. Esto es más notable en la estabilización de inicio de túnel.

No obstante, se mantienen dentro de los rangos de tolerancia.

Para la excavación del túnel 2 en final de túnel, se puede observar que la línea posee una pendiente negativa bastante definida; sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, a esta actividad se le han realizado cargos de alimentación tardíos en los costos de materiales y presenta información incompleta, por lo que este índice no es representativo.

En la Figura 21, se puede observar en el caso de la excavación de inicio de túnel, el índice de desempeño del tiempo tiende a ser 0,7 aproximadamente. Esto significa que la excavación se podría estar terminando en unas seis bisemanas más, si las condiciones del terreno no presentan menor trabajabilidad.

Para la excavación del final de túnel, se observó que el índice ha disminuido cada bisemana, pero se mantiene dentro del rango de tolerancia.

Según los rendimientos obtenidos en las últimas tres bisemanas se esperaría que esta excavación termine en la bisemana 24.

En el caso de las líneas de estabilización de taludes tanto de inicio como de final de túnel, se denota una leve pendiente positiva, siendo un poco mayor la de inicio de túnel.

Las pequeñas variaciones entre una bisemana y otra se deben a las condiciones geológicas, sin embargo, se afirma que la cantidad de obra faltante en lo que respecta a excavación y estabilización de taludes de inicio de túnel, no impedirá iniciar con la excavación subterránea en el inicio de los túneles.

Y en el caso de las actividades en el final de los túneles, como ya se ha mencionado, se continúa trabajando mientras se lleva a cabo la excavación subterránea del túnel 2 sin problemas.

Se considera que el Instituto Costarricense de Electricidad, en lo que respecta a los proyectos hidroeléctricos en especial en este, realiza un gran esfuerzo por controlar y dar seguimiento a las obras.

Sin embargo, este documento pone en evidencia que aún no se le brinda suficiente importancia al control y seguimiento de las actividades, aún con la implementación de esta herramienta y el desarrollo de este proyecto, no se hace el esfuerzo por buscarle solución a los problemas que impiden un control más efectivo de cada actividad.

Se considera conveniente, velar por solucionar las deficiencias que se evidencian en este documento. Una de ellas, la digitación tardía de las cantidades de obra y de los costos, ya que, no permite conocer la verdadera situación de la obra para cada fecha de corte e implícitamente no permite tomar decisiones acertadas.

En este momento, considero que el plan de acción por seguir es, como se menciona en las recomendaciones, realizar una capacitación de uno o dos días a todos los inspectores de costos, donde no sólo se capacite sobre el trabajo, para abarcar las principales dudas y se disminuyan los errores en los formularios, sino que también se explique de manera muy clara las

responsabilidades que tiene este puesto, y mencionar además, las consecuencias que pueden presentarse si se descubre que se está generando información falsa.

# Conclusiones

El estudio realizado permite concluir lo siguiente:

- ✓ La metodología de recolección de datos de campo para alimentar el sistema es eficaz, mas requiere de mucho tiempo para llevarse a cabo correctamente.
- ✓ La información necesaria para utilizar eficientemente el análisis de valor ganado (grado de detalle) es hasta la línea de actividades.
- ✓ Los cambios realizados generan mejoras significativas a las plantillas de control, lo que permite realizar el análisis de valor ganado para las actividades de Túneles de Desvío.
- ✓ La tendencia de los Túneles de Desvío como obra, en las seis bisemanas de análisis, es a terminar con un costo menor al programado y con un adelanto importante, pues una parte de la actividad crítica de la obra (T2 FT) inició tres bisemanas antes de lo programado.
- ✓ La digitación de los costos de materiales y equipo en ocasiones poseen retrasos importantes, por lo que los costos que se encuentran en el sistema a la fecha de corte se encuentran incompletos y no permiten conocer con exactitud el costo actual de las mismas.
- ✓ El análisis de valor ganado es muy útil para darle seguimiento a las obras, sin embargo, se requiere de personal calificado y con experiencia para garantizar una correcta aplicación y toma de decisiones.
- ✓ La técnica de valor ganado es aplicable a todas las obras del proyecto; sin embargo, cada obra requiere de un ordenamiento específico de la información de avance y costo para implementarla correctamente.
- ✓ La aplicación correcta de técnica de valor ganado, según la teoría, se requiere actualizar periódicamente la línea base, ya sea el cronograma o el presupuesto de las actividades en el momento en que éstos sufran modificaciones importantes, mediante órdenes de cambio.
- ✓ La técnica de valor ganado es aplicable a todo tipo de proyecto, sin embargo, se requiere determinar el grado de detalle que se desea controlar, pues depende del tipo de trabajo que se está analizando.
- ✓ La técnica de valor ganado, me permitió desarrollar un mayor criterio en el arte del seguimiento y control de costos, así como la importancia de conocer la situación actual de las actividades para ser capaz de tomar las mejores decisiones.

# Recomendaciones

A partir de la realización de este documento y de las conclusiones se recomienda:

- ✓ Realizar una capacitación previa al inicio de sus labores, a los inspectores de costos en obra para que antes de iniciar con la recolección de datos de campo conozcan la manera correcta de ingresar la información y evacuen las principales dudas.
- ✓ Buscar alguna manera de simplificar la metodología del cargo de los costos en campo, con el fin de minimizar cargos erróneos.
- ✓ Dedicar recursos para elaborar un análisis de las primeras bisemanas de ejecución de cada obra para determinar qué tan eficiente es el presupuesto inicial y determinar posibles modificaciones, como cantidades de obra, duración, recursos necesarios, etc.
- ✓ Estar pendiente de la correcta digitación de los costos tanto en mano de obra, materiales, equipo y otros costos, para evitar cargar montos en cuentas distintas o aplicar cargos a destiempo que le restan confiabilidad al análisis del costo actual de cada actividad y por ende a los de la obra.
- ✓ Implementar el análisis de valor ganado como herramienta de seguimiento en todas las obras del proyecto.
- ✓ Contratar más personal en el departamento de planeamiento y control para distribuir el control y seguimiento de las obras de una manera más eficiente, realizando inspecciones al campo oportunamente y disponiendo de los recursos necesarios para una correcta interpretación y análisis de los datos y una comunicación constante con los encargados de obra.
- ✓ En el momento en que se identifique un cambio importante ya sea en el cronograma o en el presupuesto de alguna actividad, realizar la orden de cambio correspondiente para actualizar la programación lo antes posible y poder aplicar la herramienta de manera correcta.
- ✓ Llamar la atención a los responsables de digitar el avance y los costos, para que realicen su trabajo correctamente, es decir, que manejen la información al día para que no se trabaje con cantidades de obra incompletas ni se realicen cargos tardíos que alteran la información de la bisemana en estudio.
- ✓ Solicitar de manera urgente una reunión con los responsables de establecer la tarifa del equipo Ice que se está utilizando en la excavación de los túneles de desvío para poder contar con el costo correspondiente a este equipo para la próxima bisemana y conocer realmente si esta excavación está costando más o menos de lo programado.

- ✓ Podría ser conveniente, aumentar el salario de los inspectores de campo, ya que, ellos poseen una gran responsabilidad, son ellos los que obtienen la información de campo y si su remuneración económica no es justa, podrían generarse una mala manipulación de los datos (favoritismos), lo que produciría mayores costos para el proyecto.
- ✓ Analizar el rendimiento de una jornada distinta a la bisemanal, es decir, realizar pruebas pequeñas, tal vez con la excavación subterránea de una de las cortinas de impermeabilización. Propondría experimentar con una bisemana, con dos turnos, pero uno de 6a.m. a 2p.m. y de 2p.m. a 10p.m. y medir el rendimiento final de esa bisemana.

# Apéndices

**Apéndice 1.** Cuadros de Valor planeado, Costo actual, Valor ganado y Variaciones de costo y tiempo.

**Apéndice 2.** Esquema de la metodología de valor ganado.

**Apéndice 3.** Diagrama de Gantt de Obras de Desvío. Instituto Costarricense de Electricidad. Departamento de Planeamiento y Control del P.H. Reventazón.

**Apéndice 4.** Tabla resumen de avances, costos, indicadores y proyecciones del Túnel de Conducción del P.H. Toro III. Instituto Costarricense de Electricidad. Departamento de Planeamiento y Control del P.H. Toro III.

# Anexos

En este capítulo se incluyen algunas imágenes y diagramas, cuya finalidad brindar información adicional al lector sobre algunos temas tratados anteriormente.

**Anexo 1.** Localización geográfica del proyecto. Instituto Costarricense de Electricidad. Informe técnico de factibilidad. Proyecto hidroeléctrico reventazón. San José. 2009.

**Anexo 2.** Esquema General del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón. Instituto Costarricense de Electricidad. Informe técnico de factibilidad. Proyecto Hidroeléctrico Reventazón. San José. 2009.

**Anexo 3.** Respaldo fotográfico del avance físico de las obras en ejecución. Instituto Costarricense de Electricidad. Departamento de Planeamiento y Control del P.H. Reventazón.

# Referencias

Amendola L.; González M. D. P; Palacios E.; Depool T. INTEGRACIÓN DE TÉCNICAS DE PERFORMANCE EN LA DIRECCIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS (EVM). IX International Congress on Project Engineering AEIPRO. Málaga, España. 2005.

Chamoun, Yamal. ADMINISTRACIÓN PROFESIONAL DE PROYECTOS. México: McGraw-Hill.2002.

Díaz, Àngel. EL ARTE DE DIRIGIR PROYECTOS. España: RA-MA Editorial. Segunda edición.2007.

Domingo, Alberto. DIRECCIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS. España: RA-MA Editorial. Segunda edición.2005.

Gatjens, Dennis. 2008. DESARROLLO DE HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DE AVANCE Y COSTOS EN PROYECTOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA: EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO TORO 3 DEL ICE. Informe de Trabajo de Graduación. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. 126p.

Gray, Clifford F. & Larson, Eric W. ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS. Cuarta Edición. Mc Graw Hill/International Editores. S.A de C.V.2009.

Instituto Costarricense de Electricidad. INFORME TÉCNICO DE FACTIBILIDAD. PROYECTO HIDROELÉCTRICO REVENTAZÓN. San José. 2009.

Navarro, Diego. SEGUIMIENTO DE PROYECTOS CON EL ANÁLISIS DEL VALOR GANADO. Disponible en: <http://direccion-proyectos.blogspot.com> . España. 2005.

Project Management Institute. GUÍA DE LOS FUNDAMENTOS DE LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS. Pmbok Guide. Tercera edición.2004.

**Apéndice 1.** Cuadros de Valor planeado, Costo actual, Valor ganado y Variaciones de costo y tiempo.

**Apéndice 1.** Cuadros de Valor planeado, Costo actual, Valor ganado y Variaciones de costo y tiempo.

Valor Planeado, Costo Actual y Valor Ganado para la bisemana 16.

<b>Actividad</b>	<b>V.P.</b>	<b>C.A.</b>	<b>V.G.</b>
Túneles de Desvío	4,380,363	2,400,693	2,956,118
Inicio de túneles	3,036,748	1,002,246	2,146,592
Excavación de IT	2,834,209	769,471	2,010,457
Estabilización de IT	202,539	232,775	105,185
Final de túneles	1,512,068	1,398,447	1,714,742
Excavación de FT	1,411,072	1,151,610	1,615,285
Estabilización de FT	100,996	246,837	57,119

Variaciones de Costo y Tiempo para la bisemana 16.

<b>Actividad</b>	<b>V.C.</b>	<b>V.T.</b>
Túneles de Desvío	555,426	(1,424,245)
Inicio de túneles	1,144,346	(890,157)
Excavación de IT	1,240,986	(823,752)
Estabilización de IT	(127,590)	(97,354)
Final de túneles	316,295	371,127
Excavación de FT	463,675	361,415
Estabilización de FT	(189,718)	(32,626)

Valor Planeado, Costo Actual y Valor Ganado para la bisemana 17.

<b>Actividad</b>	<b>V.P.</b>	<b>C.A.</b>	<b>V.G.</b>
Túneles de Desvío	5,055,581	2,621,254	3,206,300
Inicio de túneles	3,375,060	1,114,577	2,372,099
Excavación de IT	3,149,957	835,811	2,206,444
Estabilización de IT	225,103	278,766	126,381
Final de túneles	1,680,521	1,506,677	1,815,226
Excavación de FT	1,568,274	1,208,971	1,689,914
Estabilización de FT	112,247	297,706	73,817

Variaciones de Costo y Tiempo para la bisemana 17.

<b>Actividad</b>	<b>V.C.</b>	<b>V.T.</b>
Túneles de Desvío	585,046	(1,849,281)
Inicio de túneles	1,257,522	(1,002,961)
Excavación de IT	1,370,634	(943,512)
Estabilización de IT	(152,385)	(98,722)
Final de túneles	308,549	134,705
Excavación de FT	480,944	121,641
Estabilización de FT	(223,889)	(38,431)

Valor Planeado, Costo Actual y Valor Ganado para la bisemana 18.

<b>Actividad</b>	<b>V.P.</b>	<b>C.A.</b>	<b>V.G.</b>
Túneles de Desvío	5,562,345	2,844,919	3,449,461
Inicio de túneles	3,713,371	1,213,380	2,584,433
Excavación de IT	3,465,704	877,335	2,370,816
Estabilización de IT	247,667	336,044	159,784
Final de túneles	1,848,974	1,631,539	1,919,860
Excavación de FT	1,725,475	1,279,662	1,772,985
Estabilización de FT	123,499	351,877	87,632

Variaciones de Costo y Tiempo para la bisemana 18.

<b>Actividad</b>	<b>V.C.</b>	<b>V.T.</b>
Túneles de Desvío	604,543	(2,112,884)
Inicio de túneles	1,371,054	(1,128,938)
Excavación de IT	1,493,480	(1,094,888)
Estabilización de IT	(176,261)	(87,883)
Final de túneles	288,321	70,885
Excavación de FT	493,324	47,510
Estabilización de FT	(264,246)	(35,867)

Valor Planeado, Costo Actual y Valor Ganado para la bisemana 19.

<b>Actividad</b>	<b>V.P.</b>	<b>C.A.</b>	<b>V.G.</b>
Túneles de Desvío	6,096,025	3,044,834	3,716,356
Inicio de túneles	4,051,683	1,317,942	2,725,663
Excavación de IT	3,781,452	911,906	2,486,836
Estabilización de IT	270,231	406,035	177,539
Final de túneles	2,044,343	1,708,505	2,043,131
Excavación de FT	1,882,677	1,327,884	1,874,003
Estabilización de FT	134,751	380,622	101,807
Dique de FT	26,915	-	-
Túnel de Desvío 2	-	18,387	124,218
Excavación T2 FT	-	18,387	53,572

Variaciones de Costo y Tiempo para la bisemana 19.

<b>Actividad</b>	<b>V.C.</b>	<b>V.T.</b>
Túneles de Desvío	671,523	(2,379,669)
Inicio de túneles	1,407,722	(1,326,019)
Excavación de IT	1,574,930	(1,294,615)
Estabilización de IT	(228,496)	(92,692)
Final de túneles	334,625	(1,212)
Excavación de FT	546,119	(8,674)
Estabilización de FT	(278,815)	(32,944)
Dique de FT	-	(26,915)
Túnel de Desvío 2	105,831	124,218
Excavación T2 FT	35,184	53,572

Valor Planeado, Costo Actual y Valor Ganado para la bisemana 20.

<b>Actividad</b>	<b>V.P.</b>	<b>C.A.</b>	<b>V.G.</b>
Túneles de Desvío	6,461,269	3,369,427	4,210,075
Inicio de túneles	4,159,637	1,471,647	2,922,759
Excavación de IT	3,882,206	970,484	2,655,707
Estabilización de IT	277,431	501,163	197,681
Final de túneles	2,301,632	1,842,527	2,132,525
Excavación de FT	2,039,879	1,380,498	1,942,947
Estabilización de FT	146,002	462,029	114,961
Dique de FT	115,751	-	-
Túnel de Desvío 2	-	55,254	308,060
Excavación T2 FT	-	55,254	132,857

Variaciones de Costo y Tiempo para la bisemana 20.

<b>Actividad</b>	<b>V.C.</b>	<b>V.T.</b>
Túneles de Desvío	840,648	(2,251,194)
Inicio de túneles	1,451,112	(1,236,878)
Excavación de IT	1,685,223	(1,226,499)
Estabilización de IT	(303,482)	(79,750)
Final de túneles	289,998	(169,107)
Excavación de FT	562,449	(96,931)
Estabilización de FT	(347,068)	(31,041)
Dique de FT	-	(115,751)
Túnel de Desvío 2	252,806	308,060
Excavación T2 FT	77,604	132,857

Valor Planeado, Costo Actual y Valor Ganado para la bisemana 21.

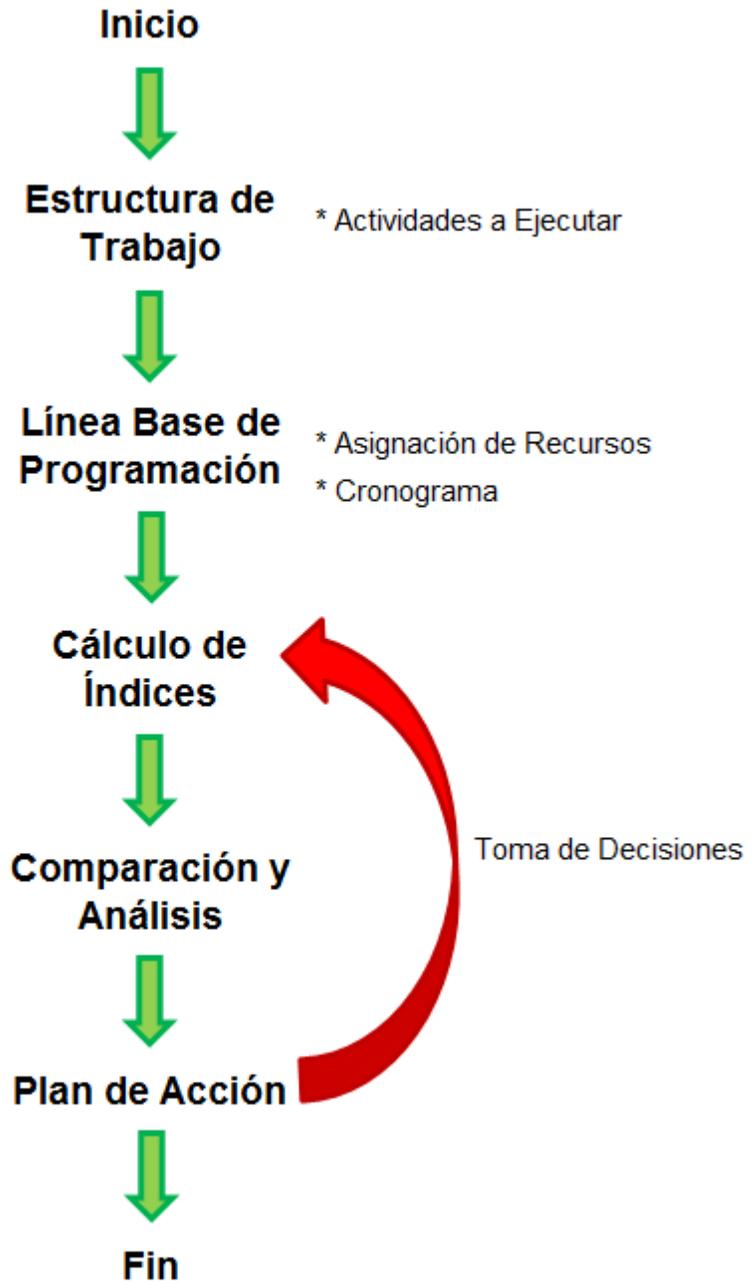
<b>ctividad</b>	<b>V.P.</b>	<b>C.A.</b>	<b>V.G.</b>
Túneles de Desvío	6,573,043	4,028,190	4,831,391
Inicio de túneles	4,159,637	1,776,381	3,080,732
Excavación de IT	3,882,206	1,017,210	2,782,813
Estabilización de IT	277,431	759,171	219,321
Final de túneles	2,413,406	2,091,137	2,179,607
Excavación de FT	2,098,003	1,412,992	,977,308
Estabilización de FT	150,162	678,146	123,190
Dique de FT	148,598	-	-
Túnel de Desvío 2	-	160,672	730,270
Excavación T2 FT	-	160,672	314,944

Variaciones de Costo y Tiempo para la bisemana 21.

<b>Actividad</b>	<b>V.C.</b>	<b>V.T.</b>
Túneles de Desvío	803,201	(1,741,653)
Inicio de túneles	1,304,351	(1,078,905)
Excavación de IT	1,765,603	(1,099,392)
Estabilización de IT	(539,850)	(58,111)
Final de túneles	88,469	(233,800)
Excavación de FT	564,316	(120,695)
Estabilización de FT	(554,956)	(26,972)
Dique de FT	-	(148,598)
Túnel de Desvío 2	569,598	730,270
Excavación T2 FT	154,273	314,944

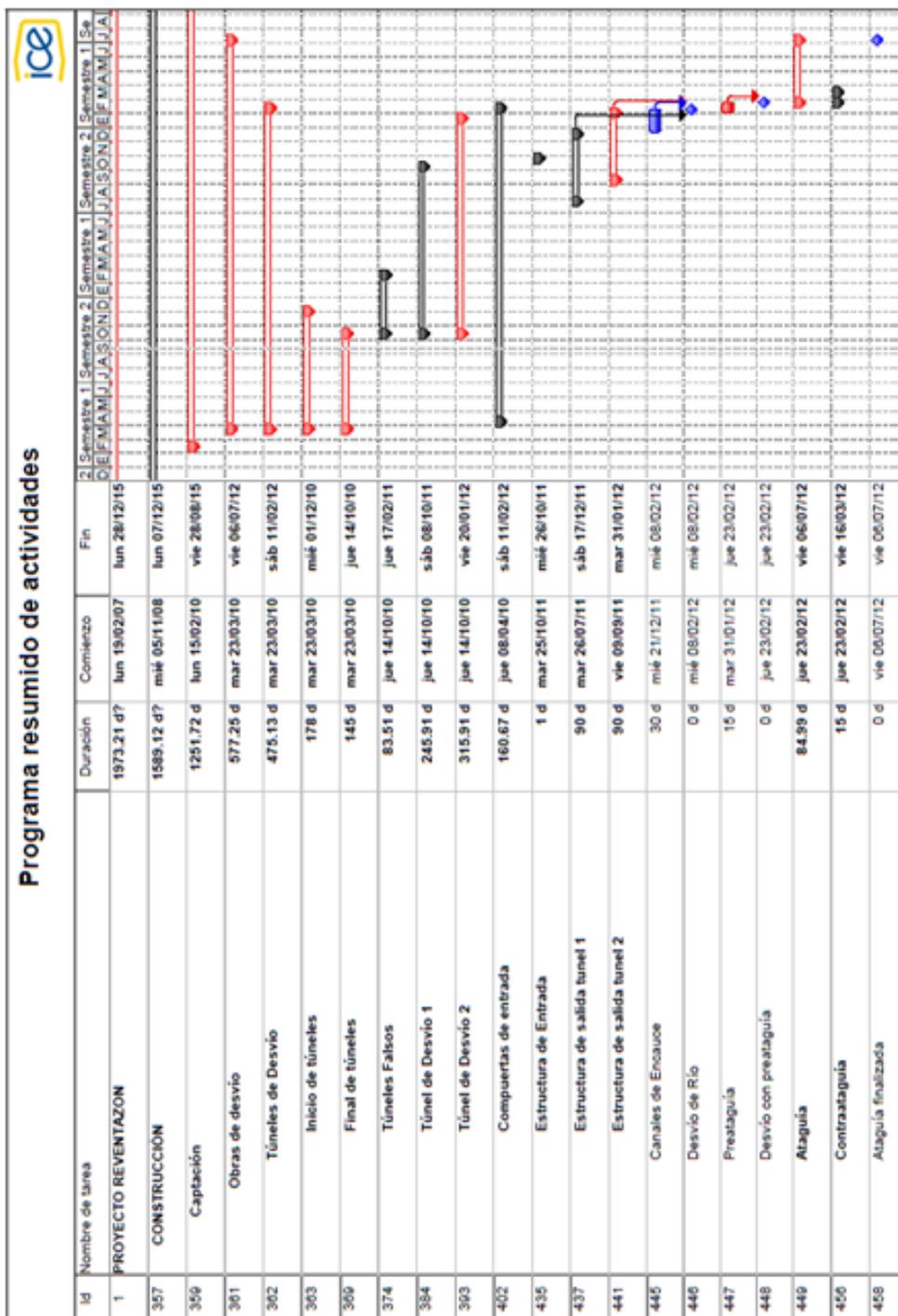
**Apéndice 2.** Esquema de la metodología de valor ganado.

**Apéndice 2.** Esquema de la metodología de valor ganado.



**Apéndice 3.** Diagrama de Gantt de Obras de Desvío. Instituto Costarricense de Electricidad. Departamento de Planeamiento y Control del P.H. Reventazón.

**Apéndice 3.** Diagrama de Gantt de Obras de Desvío. Instituto Costarricense de Electricidad. Departamento de Planeamiento y Control del P.H. Reventazón.



**Apéndice 4.** Tabla resumen de avances, costos, indicadores y proyecciones del Túnel de Conducción del P.H. Toro III. Instituto Costarricense de Electricidad. Departamento de Planeamiento y Control del P.H. Toro III.

**Apéndice 4.** Tabla resumen de avances, costos, indicadores y proyecciones del Túnel de Conducción del P.H. Toro III. Instituto Costarricense de Electricidad. Departamento de Planeamiento y Control del P.H. Toro III.

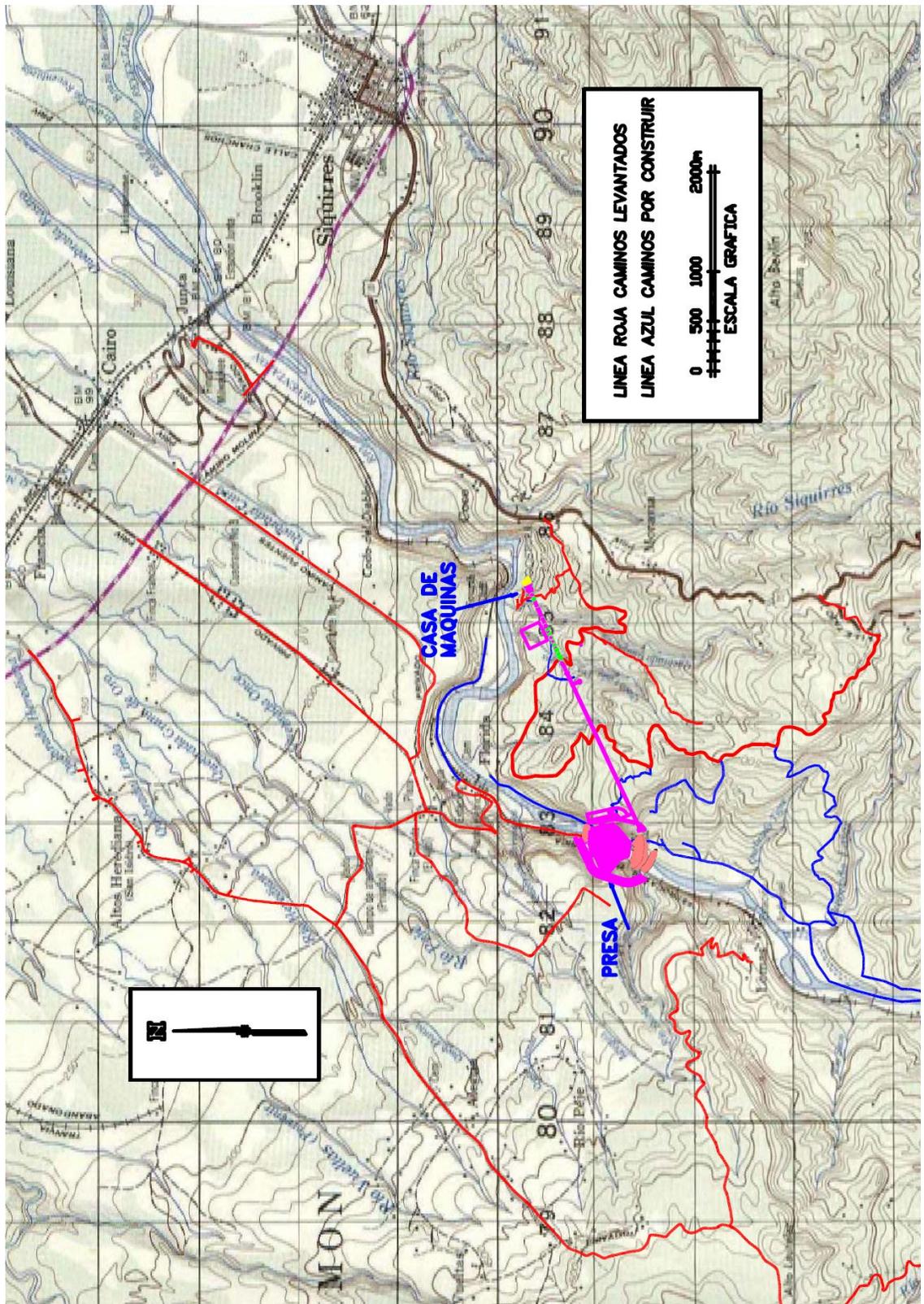
Proyecto Hidroeléctrico Toro 3  
Oficina de Planeamiento y Control  
Control de avance y costos

Bisemana: 2008\_07  
Corte al 24 de Marzo del 2008

Túnel de Conducción	Actividad	Ud	Cantidad Programada	Cantidad Acumulada	Costo Programado	Costo Real	C.U. Programado	C.U. Real	Valor Ganado		Programación Ganada		Proyecciones			
									Desempeño Costo	Costo - Programación	Desempeño Programa	Desviación prog. (días)	Costo (95% prob.)	Fecha (95% prob.)		
Túnel de Conducción					23,931,411	3,342,126									23,300,969	
Excavación					13,717,832	3,097,064										11,950,741
Frente Pozo					8,632,044	2,632,869										6,513,355
<i>Actividades Previas</i>					1.00	0.97	705,908	400,580			1.71	1.40	0.82	-78.47		421,296 04/04/08
	Instalaciones Superiores de Pozo	-	1.0	1.1	3,450	41,012	3,450.00	37,283.31	0.09						41,182	
	Bombeo	-	1.0	1.0												
	Excavación de Pozo (690-659, 31 n	-	31.0	31.0	455,400	551,183	14,690.32	17,780.09	0.83						551,183	
	Instalaciones Inferiores en pozo	-	1.0	1.0	11,500	12,515	11,500.00	12,515.09	0.92						12,515	
	Preparación de portal	-	1.0	1.5	11,500	34,255	11,500.00	22,836.46	0.50						31,649	
	Instalación de Via Férrea	-	1.0	2.0	11,500	38,792	11,500.00	19,396.15	0.59						33,210	
	Excavación T181 (0+000 - 1+607, 4	m	2,750.1	1,201.6	7,432,786	1,554,532	2,702.71	1,293.77	2.09	2.60	1.25	67			5,422,320 11/05/09	
Frente Flor					-	-									-	
Frente FT					5,085,788	464,195									5,437,386	
	Excavación a cielo Abierto	-	74,104.0	74,104.6	-	6,147	-	0.08	-						6,147	
	Instalaciones	-	750.0	700.0	146,625	92,644	195.50	132.35	1.48	0.19	0.13	(88)			131,463 29/03/08	
	Preparación de portal	-	1.0	1.0	11,500	3,816	11,500.00	3,816.17	3.01						3,816	
	Excavación T282 (4+698.3 - 3+226,	-	1,993.9	255.0	4,927,663	361,588	2,471.43	1,418.16	1.74	1.41	0.81	(18)			5,295,959 23/11/09	
Revestimiento					6,473,008	-									6,473,008	
Construcción de Contrapiso					690,343	-									690,343	
Colocación de Acero					1,460,356	-									1,460,356	
Revestimiento					4,322,310	-									4,322,310	
Blindaje					2,076,084	-									2,076,084	
Inyección					1,606,987	-									1,606,987	
	Limpieza Final T1	-	1.0	-	23,000	-	23,000.00								23,000	
	Limpieza Final T2	-	1.0	-	23,000	-	23,000.00								23,000	
	Perforación de Ventilación	-	1.0	-	11,500	-	11,500.00								11,500	
Gastos generales Frente Pozo			gl	1.00	0.22	-	198,421	-	920,320	NA	NA				920,320	
Gastos generales Frente FT			gl	1.00	0.22	-	46,641	-	216,329	NA	NA				216,329	

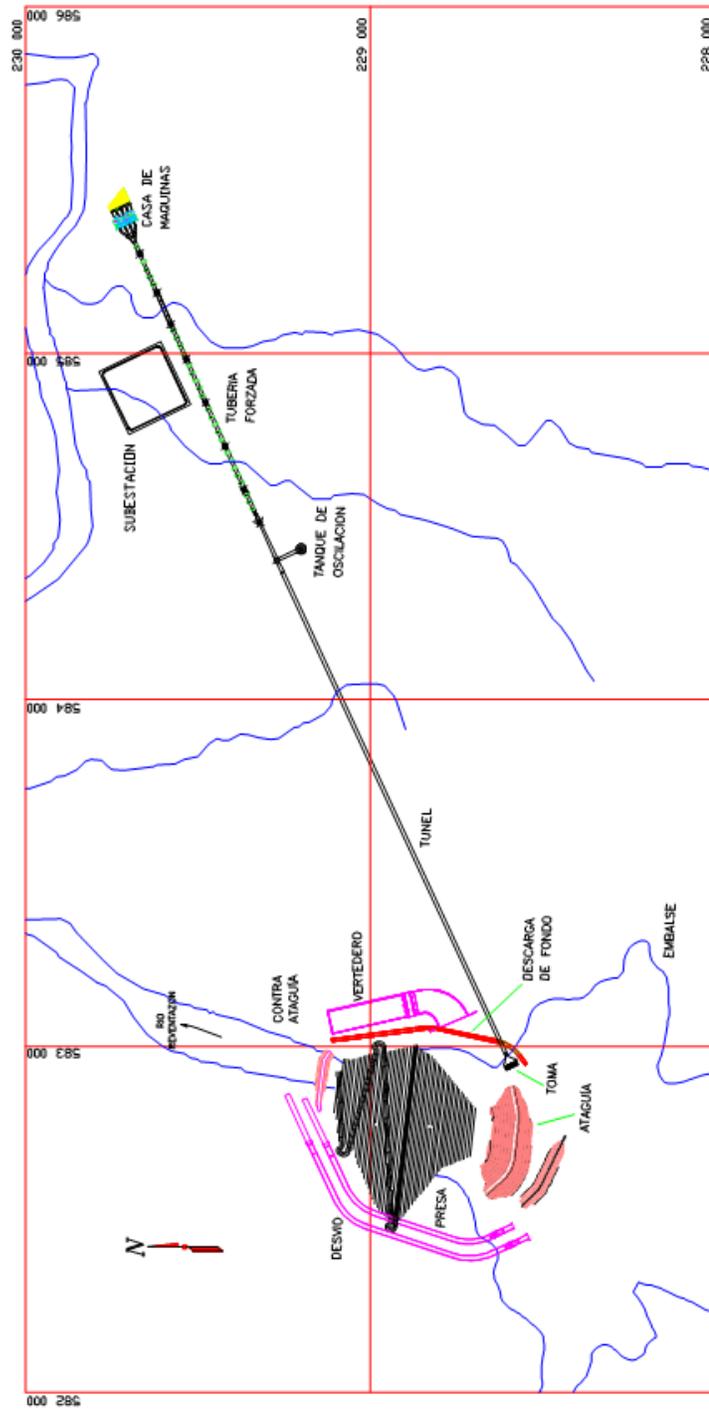
**Anexo 1.** Localización geográfica del proyecto. Instituto Costarricense de Electricidad. Informe técnico de factibilidad. Proyecto hidroeléctrico reventazón. San José. 2009.

Anexo 1. Localización geográfica del proyecto. Instituto Costarricense de Electricidad. Informe técnico de factibilidad. Proyecto hidroeléctrico reventazón. San José. 2009.



**Anexo 2.** Esquema General del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón. Instituto Costarricense de Electricidad.  
Informe técnico de factibilidad. Proyecto Hidroeléctrico Reventazón. San José. 2009.

**Anexo 2.** Esquema General del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón. Instituto Costarricense de Electricidad. Informe técnico de factibilidad. Proyecto Hidroeléctrico Reventazón. San José. 2009.



**Anexo 3.** Respaldo fotográfico del avance físico de las obras en ejecución. Instituto Costarricense de Electricidad. Departamento de Planeamiento y Control del P.H. Reventazón.

**Anexo 3.** Respaldo fotográfico del avance físico de las obras en ejecución. Instituto Costarricense de Electricidad. Departamento de Planeamiento y Control del P.H. Reventazón.

## Inicio de Túnel

### Bisemana 16



Figura 13. Trabajos de excavación y estabilización de taludes a túneles de desvío.



Figura 14. Perforación y colocación de pernos y drenaje.

## Bisemana 17



Figura 15. Trabajos de excavación y estabilización de taludes a túneles de desvío.



Figura 16. Colocación de concreto lanzado.

## Bisemana 18



Figura 17. Trabajos de excavación y estabilización de taludes a túneles de desvío.



Figura 18. Trabajos de excavación y estabilización de taludes a túneles de desvío.

## Bisemana 19



Figura 19. Trabajos de excavación y estabilización de taludes a túneles de desvío.



Figura 20. Trabajos de excavación y estabilización de taludes a túneles de desvío.

## Bisemana 20



Figura 21. Trabajos de excavación y estabilización de taludes a túneles de desvío.

## Bisemana 21



Figura 22. Trabajos de excavación y estabilización de taludes a túneles de desvío.

# Final de Túnel

## Bisemana 16



Figura 23. Trabajos de excavación y estabilización de taludes a túneles de desvío.



Figura 24. Perforación y colocación de pernos y drenaje.

## Bisemana 17



Figura 25. Trabajos de excavación y estabilización de taludes a túneles de desvío.



Figura 26. Trabajos de excavación y estabilización de taludes a túneles de desvío.

## Bisemana 18



Figura 27. Trabajos de excavación y estabilización de taludes a túneles de desvío



Figura 28. Trabajos en el portal de salida, colocación de arcos de acero.

## Bisemana 19



Figura 29. Trabajos de excavación y estabilización de taludes a túneles de desvío.



Figura 30. Colocación de concreto lanzado.

## Bisemana 20



Figura 31. Trabajos de excavación y estabilización de taludes a túneles de desvío



Figura 32. Trabajos de excavación y estabilización de taludes a túneles de desvío

## Bisemana 21



Figura 33. Trabajos de excavación y estabilización de taludes a túneles de desvío.



Figura 34. Trabajos en de excavación subterránea.